В. Ф. ЗАМКОВЕЦ

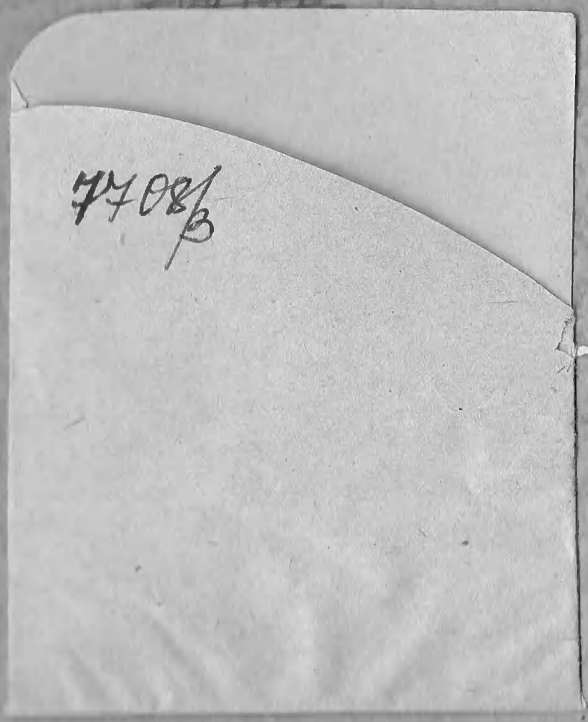
[redacted]

ПОРОХОВЫЕ РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ

II

ИЗДАНИЕ АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ АКАДЕМИИ

МОСКВА — 1949



7708/3

65
66
67
68
69
70
02
04
07

С. М.
В книге все стр.
06.05.06 г.
ветхая книга

1 отдел Т. П. И.
Прилож к вход. № 01597
от 10/II 1965 г.

АРТИЛЛЕРИЙСКАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА СУВОРОВА
АКАДЕМИЯ имени ДЗЕРЖИНСКОГО

ЗАМКОВЕЦ В. Ф.
кандидат технических наук

на основании н/вх №0919 от 30.11.78

[redacted]

ЭКЗ. № 15

ПОРОХОВЫЕ РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ

ЧАСТЬ II

УСТРОЙСТВО, ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ПОРОХОВЫХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК,
ПРОФЕССОРА ШАПИРО Я. М.

МОСКВА 1949

Тульский ... отдел ... Библиотека ... Прилож. к вход. № ... от ... 19... г.
... Библиотека Инв. №

Книга «Пороховые реактивные снаряды» состоит из двух частей. В первой части «Теория пороховых реактивных снарядов» (авторы Я. М. Шапиро и М. М. Арш) рассматриваются основные вопросы работы порохового реактивного двигателя и баллистическое проектирование пороховых реактивных снарядов. Во второй части освещены вопросы конструирования и производства реактивных снарядов. Книга предназначена для слушателей Артиллерийской Академии и инженеров, работающих в области реактивной техники.

ОТ АВТОРА

Настоящая книга составлена в соответствии с программой 6-го факультета Академии.

Книга рассчитана на лиц, знакомых с общеартиллерийскими дисциплинами (боеприпасы артиллерии, внешняя баллистика, внутренняя баллистика) и с некоторыми специальными дисциплинами (теория пороховых реактивных снарядов, пороха для реактивной артиллерии). Поэтому автор при рассмотрении ряда вопросов ссылается на соответствующие курсы, и в книге приводятся лишь специфические особенности, присущие только реактивным снарядам. Помимо изложения вопросов проектирования реактивных снарядов в книге рассмотрены также технологические особенности производства реактивных снарядов и ряд вопросов, связанных с работой военпреда.

При изложении курса автор стремился дать критическую оценку различным образцам реактивных снарядов и их элементов, с тем чтобы научить военного инженера правильно оценивать реактивное вооружение и грамотно ставить перед промышленностью технические задачи при разработке новых образцов.

По условиям секретности не все образцы реактивных снарядов могли быть описаны в настоящем курсе.

Автор приносит свою глубокую благодарность рецензенту книги, Лауреату Сталинской премии инженер-полковнику Виноградову Л. А., генерал-лейтенанту артиллерии Кулешову П. Н., редактору книги, действительному члену Академии Артиллерийских Наук инженер-полковнику Шапиро Я. М. и товарищам по работе на кафедре за весьма ценные указания, использованные при работе над книгой.

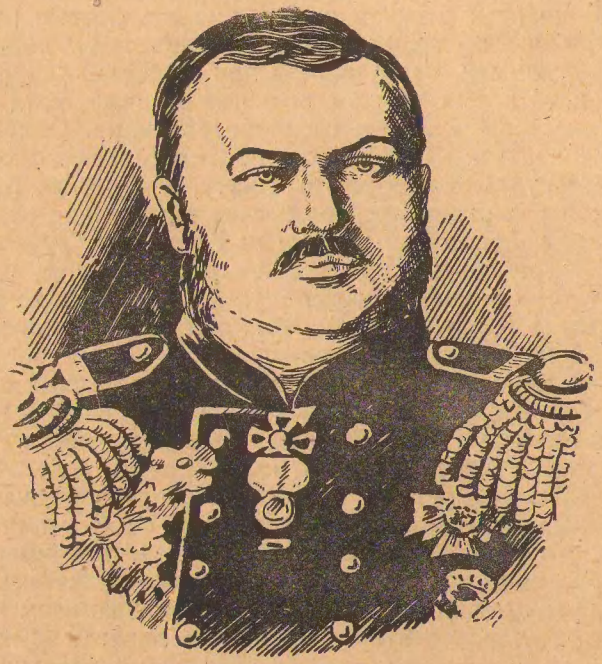
ВВЕДЕНИЕ

К началу XIX века на вооружении большинства европейских армий, в том числе и русской армии, имелись боевые ракеты. Ракеты того времени по своим тактико-техническим данным (меткости, дальнобойности, безопасности при стрельбе) уступали существовавшим в то время гладкоствольным пушкам, хотя последние также были несовершенны по своей конструкции. Однако ракеты могли выстреливаться из простых и подвижных ракетных станков, которыми было удобно вооружить пехоту, кавалерию, горные войска. В русской армии наибольшее боевое применение ракеты получили в горных районах при покорении Кавказа и Туркестана.

Помимо недостаточно высоких тактико-технических характеристик ракет того времени производство их было весьма трудоемким и опасным, в большинстве случаев они производились в кустарных мастерских примитивными методами.

Над созданием метких, дальнобойных и безопасных при стрельбе и в изготовлении ракет, а также над разработкой высокопроизводительных методов их изготовления работали многие ученые как за границей, так и у нас в России (генералы Засядко, Козен, полковник Внуков и др.). Уже к половине XIX века боевые свойства ракет и методы их изготовления в России оставили позади себя то, что имелось в иностранных армиях. Так, например, когда в 1842 году русскому правительству предложили купить одно из английских предприятий по производству так называемых «конгревовых ракет», которое считалось одним из совершенных ракетных заведений за границей, то оказалось, что существовавшие там методы и секреты производства были хорошо известны у нас в России. Подлинную революцию в конструкции и методах изготовления боевых ракет произвел русский ученый-артиллерист генерал-лейтенант Константин Иванович Константинов, которого следует считать основоположником русского реактивного оружия. Еще будучи полковником, в 1847 г. Константинов возглавил петербургское ракетное заведение и благодаря его работам ракеты стали настоящим боевым оружием.

В Константинове блестяще сочетались способности конструктора и изобретателя, технолога и неутомимого организатора, исследователя-ученого и лектора, воспитателя артиллеристов ракетчиков и тактика, разработавшего основу боевого применения ракет.



Генерал-лейтенант К. И. Константинов.

К числу наиболее важных работ Константинова относятся: боевые ракеты, станки для пуска ракет, конструкция хвоста ракеты с продольными желобами (прообраз современного стабилизатора), конструкция спасательной ракеты, значительно превосходящей конструкцию английской спасательной ракеты, баллистический маятник, предохранительная трубка для боевых ракет, метод уменьшения влияния эксцентриситета массы на рассеивание ракет и многое другое.

В результате работ Константинова дальность полета русской боевой ракеты возросла в четыре раза. Константинов написал ряд блестящих работ по теории реактивного движения и по вопросам боевого применения ракет. Курс лекций Константинова «О боевых ракетах», читанный в Михайловской Артиллерийской академии в 1860 г., был издан в 1861 г. в Париже на французском языке.

Константинов пришел к выводу, что возможно создание «математической теории конструкции ракет».

— «Но это еще наука, которую надобно создать»,— писал он. Такую науку Константинов создать не успел; он умер в 1871 году.

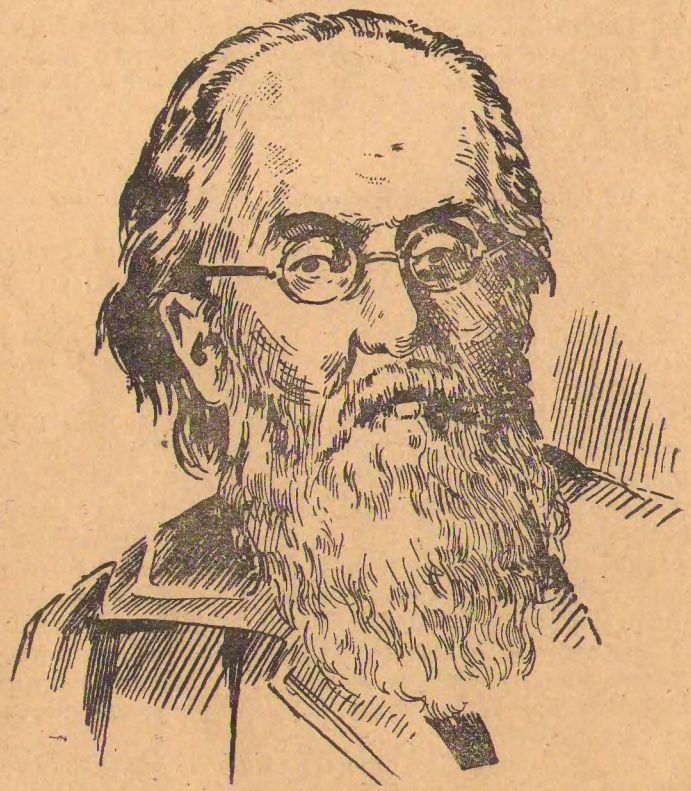
Эта новая наука о реактивном движении была создана знаменитым русским ученым Константином Эдуардовичем Циолковским (1857—1935 гг.).

Циолковский написал много работ, относящихся к различным отраслям науки и техники, но важнейшие из них относятся к проблеме летания с помощью ракетных аппаратов.

В 1903 году появился фундаментальный труд Циолковского — «Исследование мировых пространств реактивными приборами», хотя первые высказывания Циолковского о возможности использования реактивного принципа для межпланетных перелетов относятся еще к 1883 г. В последующих работах Циолковский разработал большое количество вопросов теории и практики реактивного движения, и можно утверждать, что в каждой современной ракете имеются черты, предугаданные гением Циолковского.

Идеи и исследования Циолковского оказали огромное влияние на развитие реактивной техники в Советском Союзе и за границей. Бесспорно, и это признают даже буржуазные ученые, что Константин Эдуардович Циолковский является родоначальником русской и мировой реактивной техники.

Циолковским была выведена формула для определения скорости ракеты, носящая название формулы Циолковского. Эта формула и в настоящее время является одной из основных во всех исследованиях в реактивной технике. Далее будет показано, что все вопросы, относящиеся к выбору оптимального порохового реактивного заряда, к нахождению оптимальных размеров реактив-



К. Э. Циолковский.

ного снаряда и многие другие основываются на формуле Циолковского.

Разработка реактивных снарядов в Советском Союзе проводилась на основе теоретических исследований Циолковского его учениками.

Уже в первые годы существования Советской власти в Советском Союзе началась работа над созданием реактивных снарядов. В Ленинграде была создана газодинамическая лаборатория, в которой работали Артемьев, Тихомиров, к ним впоследствии присоединилась группа работников, окончивших Артиллерийскую академию (Петропавловский, Шварц, Пойда и др.).

В Москве работала группа, возглавляемая учеником Циолковского — Цандером, в составе Победоносцева, Тихонравова, Душкина, Кисенко и др. Усилиями этих работников уже к 1930 году были разработаны первоклассные, по тому времени, образцы реактивного вооружения.

Благодаря Сталинским пятилеткам это новое грозное оружие в Советском Союзе стали производить в таком количестве, которое удовлетворяло потребность Советской Армии. Перед Отечественной войной были созданы пусковые установки БМ-8 и БМ-13 (конструкторы: Гвай, Костиков, Аборенков, Гвалковский). Во время войны были разработаны мощный фугасный снаряд М-31 и реактивная противотанковая система.

В результате всех этих работ на вооружении Советской Армии во время Великой Отечественной войны состояли наиболее совершенные образцы войсковой реактивной артиллерии, превосходящие образцы реактивного вооружения иностранных армий.

За создание новых образцов реактивного вооружения конструкторам, технологам, исследователям неоднократно присуждалось звание Лауреатов Сталинских премий.

Советские ученые, разрабатывающие теорию реактивного движения, создали ряд фундаментальных работ главным образом в области внешней и внутренней баллистики реактивных снарядов, обогнав в этом отношении ученых зарубежных стран. Здесь следует отметить в первую очередь работы профессоров — Победоносцева Ю. А., Гантмахера Ф. Р., Зельдовича Я. Б. (Лауреатов Сталинской премии), Космодемьянского А. А., Шапиро Я. М. и др.

И, наконец, необходимо указать, что реактивное вооружение, переданное генералам, офицерам и солдатам Советской Армии, попало в надежные руки. Наши военоначальники в ходе войны разработали технически и организационно наиболее совершенные методы боевого использования реактивного вооружения, что помогло нашим гвардейцам-минометчикам со славой завершить победный путь в Берлине.

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ (РС)

§ 1. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТИВНОЙ И СТВОЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Основные особенности современной войны:

1. Массовое применение танков и авиации на поле боя. Эти виды вооружения непрерывно и быстро усовершенствуются (усиливается броня, повышаются скорости и увеличивается потолок полета самолетов).

2. Увеличение темпов проведения боя и операций.

Так, например, если в первую мировую войну средний темп передвижения войск при наступлении не превышал 6 км в сутки, то во вторую мировую войну он достигал 25—35 км.

3. Увеличение глубины построения боевых порядков в наступлении и в обороне. В частности, если в войне 1914—1918 гг. армии располагались для обороны в 2—3 полосы, общей глубиной в среднем не более 20 км, то глубина современной обороны достигает 100—150 км и включает 5—6 и более полос.

Следует также отметить, что современная оборонительная полоса чрезвычайно насыщена новыми видами инженерных сооружений и препятствий, разрушение которых представляет большие затруднения.

4. Дезорганизация тыла противника, т. е. разрушение действующих производственных объектов, коммуникаций, мест сосредоточений, находящихся в глубоком тылу (150—250 км) противника.

Современной артиллерии для решения этих задач необходимо увеличить:

1. Начальную скорость, обеспечивающую дальнюю и сверхдальнюю стрельбу и повышение бронепробиваемости.
2. Точность стрельбы.
3. Мощность снаряда.
4. Скорострельность и возможность создания шквального огня.
5. Подвижность (маневренность) артиллерийской системы.

Перечисленные тактико-технические требования в ствольной артиллерии непрерывно усовершенствовались за счет улучшения балистики снаряда, внедрения автоматики, создания легких систем и т. д. Однако улучшение этих требований происходит сравнительно медленно, а в некоторых случаях наталкивается на весьма большие преграды.

Бурное развитие реактивной артиллерии в тридцатых годах XX века объясняется тем, что использование реактивного принципа действия способствовало более успешному и более легкому выполнению указанных требований, тем самым знаменуя принципиально новое направление в развитии военной техники.

Инженеру, занимающемуся отработкой боеприпасов артиллерии и вопросами боевого применения их, важно в первую очередь знать, какие же тактико-технические требования легче, экономнее и эффективнее разрешить при использовании либо активного принципа действия в обычных артиллерийских орудиях, либо реактивного принципа действия. Следовательно, необходимо в первую очередь произвести сравнительную оценку достоинств и недостатков реактивной и обычной ствольной артиллерии.

1. Достоинства реактивной артиллерии

Основные преимущества реактивной артиллерии:

1. Повышение начальных скоростей снарядов по сравнению с существующими (800—1 000 м/сек) на 40—60% наиболее легко получить применением реактивного принципа. Повышение существующих скоростей примерно в два раза, при современном состоянии техники можно получить только используя реактивный принцип.

Как известно, практический предел начальных скоростей в ствольной артиллерии, определяемый главным образом живучестью ствола, равняется примерно 1 500 м/сек.

В настоящее время максимальные скорости обычных снарядов равняются 900—1 000 м/сек, а подкалиберных — 1 100—1 300 м/сек. В то же время уже на первых этапах развития реактивной артиллерии были достигнуты скорости 1 200—1 600 м/сек (зенитный снаряд «Тайфун» — 1 280 м/сек, четырехкамерный пороховой снаряд «Рейнботе» — 1 600 м/сек, дальнобойная жидкостная ракета А-4 — 1 600 м/сек).

Таким образом, преимущество в получении максимальных скоростей остается на стороне реактивного принципа.

2. Отсутствие отдачи при выстреле при применении реактивного принципа позволяет создавать легкие, малогабаритные, простые и многозарядные системы для стрельбы мощными снарядами. Отсутствие отдачи позволяет вести огонь реактивными снарядами с плеча, с рук, с небольших треног, двухколесной установки, грузовика, танка, самолета и небольшого морского судна.

Легкость метательной установки особенно ценна при ведении военных действий в труднопроходимых местностях, в горах и т. д.

Если для артиллерийских нарезных систем калибра 100—150 мм коэффициент использования металла системы (отношение кинетической энергии выстреливаемых снарядов к весу системы) колеблется в пределах $200 \div 400 \frac{кг \cdot м}{кг}$, то для реактивных систем эта величина в среднем может быть принята:

Для реактивных установок типа БМ-13 (включая вес автомашины) . . . . . — 900—1500 $\frac{кг \cdot м}{кг}$

Для реактивных установок, смонтированных на прицепе (немецкие многоствольные установки) — 3000—6000 $\frac{кг \cdot м}{кг}$

Для реактивных снарядов, выстреливаемых из специальных станков или укупорки . . . . . — до 10000 $\frac{кг \cdot м}{кг}$

Простота реактивных установок должна быть в первую очередь оценена по производственным и эксплоатационным преимуществам.

Такие сложные узлы, как артиллерийский ствол, изготовляемый из дорогостоящей легированной стали с высокой степенью точности, противооткатные устройства и другие узлы, заменяются простыми по конструкции направляющими, несложными в производстве и изготовляемыми из поделочной углеродистой стали. Это дает большую экономию стратегического материала, времени, инструментов и рабочей силы. Все это имеет большое значение для быстрого роста вооружения в военное время.

Отсутствие отдачи в реактивной системе позволяет делать их многоствольными, причем несколько десятков стволов возможно смонтировать на том же лафете, на котором монтируется один артиллерийский ствол того же калибра.

Существующие отечественные реактивные установки имеют до 48 стволов. Реактивные установки армии США имеют до 120 стволов. Число стволов ограничивается главным образом грузоподъемностью передвигающейся реактивной установки и некоторыми эксплоатационными факторами.

3. Легкость, малогабаритность и многозарядность позволяют создавать реактивные системы, обладающие большой скоростью передвижения, маневренностью и способностью в короткий промежуток времени создать большую плотность огня, чему способствует то обстоятельство, что выстреливание нескольких десятков снарядов с одной установки происходит в несколько (5—10) секунд, а время залпа полка или бригады реактивных установок длится около минуты. Так, например, огневая мощь залпа дивизиона гвардейских минометных частей, вооруженных установками БМ-8-48, равноценна мощности 40—50 дивизионов ствольной артиллерии, вооруженных 76-мм пушками.

Моторизованный 4,5-дюймовый дивизион реактивной полевой артиллерии (США) вооружен 36 реактивными установками Т-66

(24-ствольные). Один дивизион выпускает в течение 12 сек. 864 осколочно-фугасных снаряда, что эквивалентно огневому налету 72 дивизионов 105-мм гаубиц.

Во второй мировой войне английский флот применял реактивные установки, выпускающие в минуту 1 000 снарядов с общим весом ВВ 3 170 кг, причем количество обслуживающего персонала составляло 5—6 человек.

4. Большая плотность и мощность огня реактивных установок, а также возможность внезапного применения РС на поле боя вызывают огромное моральное потрясение противника, что неоднократно подтверждалось показаниями немецких военнопленных. Известно, что одним из наилучших средств отражения атак и контратак пехоты противника является применение реактивной артиллерии.

5. Малые величины ускорений, действующие на детали реактивных снарядов. Время воздействия пороховых газов на артиллерийский снаряд определяется тысячными и сотыми долями секунды, время горения порохового реактивного снаряда исчисляется десятыми долями секунды, а время работы порохового двигателя реактивного снаряда «Рейнтохтер-ЗР» достигает 40 секунд. Поэтому силы инерции, развивающиеся при выстреле в реактивных снарядах, в десятки и сотни раз меньше, чем в артиллерийских снарядах ствольной артиллерии. В табл. 1 показаны величины ускорений при выстреле в снарядах ствольной и реактивной артиллерии.

Таблица 1

Наименование системы	Максимальное ускорение м/сек²
160-мм миномет, заряд № 2	12750
152-мм гаубица обр. 1938 г.	25500
76-мм пушка обр. 1902 г.	158500
Реактивный снаряд М-13	440
Реактивный снаряд М-31	260
100-мм немецкий реактивный снаряд „Тайфун“	910

Малые величины ускорений, а следовательно, и развивающихся в стенках напряжений в реактивных снарядах позволяют изготавливать боевую часть реактивного снаряда с тонкими стенками, толщина которых определяется прочностью при ударе в преграду. К металлу снарядов не предъявляются большие требования. Снаряды ствольной артиллерии выполняются с толстыми стенками и донъями, и применяемый металл должен быть высококачественный.

Указанное обстоятельство позволяет спроектировать боевую часть реактивного снаряда с наилучшим действием у цели. Это относится в первую очередь к осколочно-фугасным снарядам, при-

меняемым для борьбы с пехотой и разрушения легких сооружений, к фугасным, дымовым, химическим, зажигательным, осветительным снарядам, имеющим повышенный вес ВВ, ДВ, ОВ и т. д.

В качестве примеров можно привести следующие данные реактивных снарядов:

1) коэффициент наполнения для осколочно-фугасного снаряда М-13 $\alpha = \frac{\omega_{вв}}{q} = 14\%$, т. е. этот коэффициент взят по верхнему пределу для осколочно-фугасных снарядов ствольной артиллерии. Относительный вес разрывного заряда для М-13 $C_\omega = \frac{\omega}{d^3} = 2{,}13$ (против 1,5—2 в ствольной артиллерии);

2) коэффициент наполнения для фугасного турбореактивного снаряда калибра 300 мм бывшей немецкой армии $\alpha = \frac{48{,}5}{112} \approx 43\%$, против 10—25% у фугасных снарядов ствольной артиллерии;

3) коэффициент наполнения 210-мм дымового снаряда (штатного снаряда бывшей немецкой армии) $\alpha = \frac{38}{84} = 45{,}3\%$, в то время как для артиллерийских дымовых снарядов $\alpha = 15 \div 25\%$. И, наконец, применение боевой части реактивного снаряда с тонкими стенками дает большую экономию при изготовлении, так как боевую часть реактивных фугасных снарядов, реактивных противотанковых кумулятивных снарядов можно изготовить штамповкой листового металла или из тонкостенной трубы.

6. Возможность ведения огня различными по калибру и длине снарядами с одной и той же установки. Турбореактивные снаряды не обладают указанным преимуществом, так как требуют определенного калибра направляющих. Так, например, в Советской Армии с пусковой машины БМ-13 ведется стрельба снарядами М-13, М-13 ДД, М-20; в английской армии применялись для стрельбы с одной реактивной установки шесть типов различных снарядов весом от 25 до 60 фунтов и калибром от 3 до 6 дюймов.

Кроме того, реактивные снаряды обладают тем свойством, что боевая и реактивная части могут быть соединены в различных комбинациях, что создает большую универсальность в боевом применении РС. Так, например, отечественные снаряды М-13, М-20, М-30 имеют общий реактивный двигатель и различные боевые части.

7. Возможность создания управляемых на траектории реактивных снарядов, так как калибр снаряда может быть выбран в широких пределах и на снаряд при выстреле действуют малые ускорения.

8. Хорошая подводная баллистика, заключающаяся в способности снаряда входить в воду с большой скоростью и сохранять под

водой направление движения на активном участке траектории. Это свойство реактивных снарядов может быть использовано при стрельбе по кораблям и подводным лодкам и может привести к увеличению эффективности стрельбы.

9. Большая поперечная нагрузка оперенных реактивных снарядов. Оперенные реактивные снаряды, как правило, имеют значительно большую длину (в калибрах), чем артиллерийские снаряды ствольной артиллерии. Это обстоятельство создает лучшие внешние баллистические качества реактивных снарядов и позволяет получать большие дальности с меньшей трудностью.

10. Возможность сжигания порохового заряда реактивного снаряда отдельными порциями через определенные промежутки времени. Если сгорание порохового заряда будет происходить через некоторые промежутки времени, то при прочих равных условиях можно получить увеличение дальности.

11. Лучшее использование кумулятивного эффекта. Реактивный снаряд удобно стабилизировать на полете оперением. Известно, что кумулятивный эффект невращающегося снаряда значительно превосходит кумулятивный эффект вращающегося.

12. Возможность применения в реактивных, зажигательных, химических, дымовых снарядах заднего расположения боевой части, уменьшающего потери зажигательного или химического вещества, так как оно не уходит в землю.

2. Недостатки реактивной артиллерии

1. Большое боковое рассеивание снарядов реактивной артиллерии, которое в настоящее время в 5—10 раз больше рассеивания артиллерийских снарядов ствольной артиллерии. Исключение составляют реактивные снаряды с быстрогорящими, тонкосводными, пороховыми зарядами, например, реактивные противотанковые снаряды, для которых $\frac{Bв}{X} \approx \frac{Bб}{X}$ — порядка $1/400 \div 1/500$.

Рассеивание лучших образцов реактивных снарядов по дальности приближается к рассеиванию по дальности гаубичных артиллерийских снарядов.

Однако следует отметить, что этот недостаток реактивной артиллерии в некоторых конкретных огневых задачах не имеет существенного значения. Если, например, требуется выпустить максимальное количество снарядов на определенный участок в кратчайший срок (при постановке наземного или зенитного заградительного огня), т. е. когда требуется взаимодействие нескольких дивизионов, то большое рассеивание РС не является недостатком, так как площадь, по которой ведется стрельба, будет полностью поражена.

2. Наличие около реактивной установки мощной газовой струи, поднимающей облако пыли. Это затрудняет маскировку, подбер-

гает опасности личный состав, затрудняет ведение и наблюдение стрельбы, подвергает разрушению материальную часть, требует дополнительных конструктивных устройств для сохранения устойчивости установки. Особенно сильно демаскируются огневые позиции при стрельбе реактивными снарядами в ночное время. Для уменьшения этих недостатков РС, вызываемых наличием газовой струи, применяют бронированные кабины (для укрытия личного состава); огневые позиции необходимо выбирать в хорошем дефиле, позади холма, под укрытием деревьев на сырой или покрытой травой местности. Все эти мероприятия являются недостаточными; принципиального решения вопроса пока не видно и, повидимому, этот недостаток будет долгим спутником реактивной артиллерии.

Большая скорость, подвижность и маневренность реактивной артиллерии в некоторой степени уменьшают недостатки, связанные с трудностью маскировки.

3. Большие габариты оперенных реактивных снарядов одинакового калибра со снарядами ствольной артиллерии создают неудобства в служебном обращении.

4. Больший расход пороха в реактивных снарядах по сравнению с артиллерийскими снарядами и минами для стрельбы на одинаковые дальности.

5. Большая сложность, а следовательно, и стоимость реактивных снарядов по сравнению с артиллерийскими снарядами из-за наличия в РС реактивной части, кроме боевой.

Изготовить реактивные снаряды более сложно и дорого, чем артиллерийские снаряды, за исключением реактивных дымовых, химических и в некоторых случаях фугасных снарядов, для изготовления реактивной и боевой частей которых можно применять цельнотянутые трубы. Впрочем надо внести поправку на то, что технология артиллерийских снарядов достаточно отработана, а технология РС находится в процессе становления.

Если учитывать сложность и стоимость производства одного выстрела совместно снаряда и артиллерийской системы, то в ряде случаев, особенно для снарядов крупных калибров, преимущество может оказаться на стороне реактивной артиллерии.

Сравнив недостатки и достоинства реактивной и ствольной артиллерии, можно притти к выводу, что реактивная артиллерия будет играть все возрастающую роль в вооружении всех стран как в качестве наступательных, так и оборонительных средств. Однако реактивная артиллерия ни в коей мере не претендует на роль соперника ствольной артиллерии. Задачи, решаемые артиллерией в бою, столь велики и разнообразны, что успешное их выполнение может быть достигнуто только при гармоническом сочетании ствольной и реактивной артиллерии. Поэтому правильно рассматривать реактивную артиллерию как разумное дополнение ствольной артиллерии и применять ее в тех случаях, когда поставленная

перед артиллерией задача легче и эффективней решается использованием реактивного принципа.

Перечисленные выше достоинства реактивной артиллерии способствовали созданию в 1935—1945 гг. реактивных снарядов и пусковых установок к ним почти для всех родов войск.

Наибольшее распространение получили:

1. Системы залпового огня, применявшиеся на направлении главного удара, для решения следующих огневых задач:

а) уничтожение или подавление живой силы противника, а также огневых и механизированных средств противника в местах их сосредоточения;

б) разрушение опорных пунктов и узлов сопротивления на переднем крае и в глубине обороны [1];

в) отражение атак и контратак пехоты и танков при их массированном применении;

г) обстрел командных пунктов противника, складов боеприпасов и снабжения;

д) ведение беспокоящего огня и стрельбы на воспрещение по важным районам, мостам, дорогам, местам проведения инженерных работ;

е) обеспечение высадки десанта при форсировании водных преград;

ж) разрушение и вскрытие минных полей;

з) постановка дымовых завес.

Способ ведения огня для решения всех перечисленных задач может быть двоякий:

— залповый огонь на разрушение, подавление и уничтожение;

— методический огонь на изнурение и воспрещение; методический огонь ведется залпами отдельных боевых машин через неравные промежутки времени.

2. Системы единичного огня, обладающие большой кучностью. Эти образцы реактивного вооружения с кучностью, приближающейся к кучности снарядов ствольной артиллерии, приспособлены к стрельбе по одиночным целям; к ним относятся:

а) реактивные снаряды с тонкосводным пороховым зарядом (противотанковые снаряды, снаряды для разрушения ДОТ и ДЗОТ);

б) реактивные снаряды для вооружения самолетов; вследствие добавочной скорости самолета кучность значительно улучшается;

в) управляемые реактивные снаряды и бомбы.

[1] Здесь необходимо отметить следующее важное обстоятельство. Уже во второй мировой войне при разрушении инженерных сооружений возможная плотность установки ствольной артиллерии (по вместимости позиционных районов) достигла своего предела. Эта возможная плотность вполне достаточна для разрушения разведанных целей. Плотность артиллерии для разрушения и подавления неразведанных целей недостаточна. Наиболее эффективное разрешение этой задачи может быть получено применением реактивной артиллерии.

§ 2. УСТРОЙСТВО РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Реактивным снарядом называется такой снаряд, который движется под действием реактивной силы.

Кроме реактивных снарядов, существуют активно-реактивные снаряды (АРС), выстреливаемые из орудий и получающие добавочную скорость от сгорания порохового реактивного заряда. Активно-реактивные снаряды по устройству и баллистике отличаются от реактивных снарядов и представляют самостоятельный раздел изучения.

Приспособление для выстреливания одного реактивного снаряда называется реактивным станком.

Реактивная установка — это приспособление, смонтированное из нескольких реактивных станков в один общий пакет.

Боевая машина — это реактивная установка, смонтированная на самодвижущейся машине (автомобиль, бронемашина).

По способу стабилизации на полете реактивные снаряды разделяются на оперенные (рис. 1) и вращающиеся или турбореактивные (рис. 2).

Каждый реактивный снаряд состоит из боевой части и реактивной.

Боевая часть (1) предназначена для того, чтобы произвести то или иное действие у цели.

В настоящее время созданы все виды реактивных снарядов: осколочные, осколочно-фугасные, фугасные, дымовые зажигательные, химические, кумулятивные и т. д. Для сообщения начального импульса для взрыва боевой части в требуемой точке траектории применяются трубки и взрыватели самых разнообразных устройств.

Конструкция боевой части зависит от типа и назначения снаряда.

Реактивная часть предназначается для сообщения снаряду начальной скорости, сохранения устойчивости снаряда на полете и состоит из порохового двигателя (2) и стабилизирующего устройства (3).

Пороховой двигатель предназначен для размещения и сгорания порохового заряда; он состоит из:

а) порохового заряда,
б) реактивной каморы (4),
в) крышки — сопла (турбинки (5) в турбореактивном снаряде),
г) диафрагмы (6),
д) воспламенительного устройства.

Реактивная камора — основная деталь реактивного снаряда — представляет собой цилиндр с цельным или привертным дном, в котором размещается пороховой заряд. С реактивной каморой соединяется (ввертывается — рис. 1, или навертывается — рис. 2) крышка-сопло (5) или турбинка. В некоторых случаях крышка-сопло выполняется заодно с реактивной каморой.

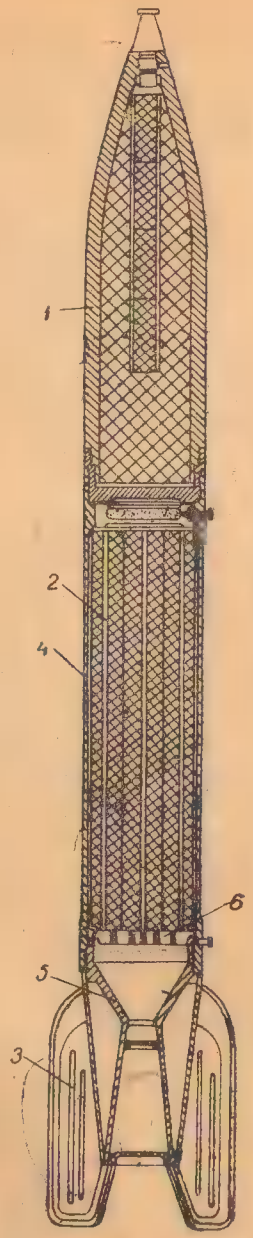


Рис. 1. Оперенный реактивный снаряд /ОРС/.

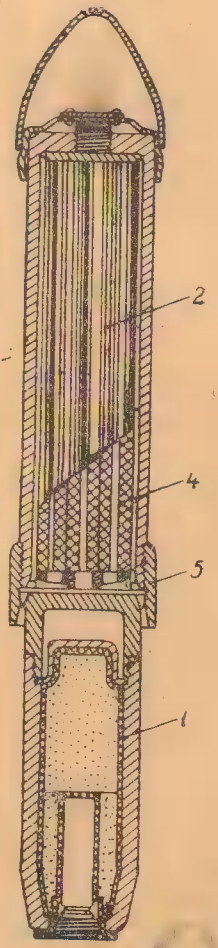


Рис. 2. Турбореактивный снаряд /ТРС/.

4408/3
ТУМСКИЙ СПЕЦ. БИБЛИОТЕКА ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
8422

Назначение детали крышка-сопло — закрыть реактивную камору и создать определенный режим истечения газов из каморы.

На детали крышка-сопло часто крепится стабилизирующее устройство. Перед соплом размещается диафрагма (6) — деталь, имеющая много конструктивных разновидностей (дисковая, колосниковая, лепестковая и т. д.).

Назначение диафрагмы:

1) фиксировать реактивный заряд в определенном положении, предохраняя его от перемещений в служебном обращении;

2) удерживать шашки порохового заряда от выбрасывания их в критическое сечение сопла во время горения пороха, чем предотвращается возможность закупорки критического сечения сопла и, как следствие этого, разрыв реактивной каморы. Отверстия в диафрагме должны быть рассчитаны таким образом, чтобы они были меньше размера порохового заряда в последний момент сгорания. Так, например, в снаряде М-8 применяется порох 26,5/6, диаметр шашки которого в конце горения будет, очевидно, 16,2 мм; диаметр отверстия диафрагмы в снаряде М-8 принят равным 13 мм.

Одновременно необходимо следить за тем, чтобы пороховая шашка не закрывала отверстий диафрагмы, а диафрагма не закрывала бы внутреннего канала пороховой шашки.

К средствам воспламенения реактивных снарядов относятся электрические и ударные воспламенительные устройства. Последние применяются в системах единичного выстрела (главным образом в противотанковых системах).

Стабилизация снаряда на полете осуществляется либо оперением, либо турбинкой с косонаклоненными (под углом 12—25°) отверстиями; газы, выходя из этих отверстий, создают тангенциальную реактивную силу, вращающую снаряд с угловой скоростью от 1 400 об/мин — для снарядов крупных калибров (300—320 мм) до 25 000 об/мин для 20-мм снаряда «Люфтфауст».

Метод стабилизации снаряда на полете в сильной степени зависит от требуемой дальности стрельбы. Для больших дальностей следует иметь возможно меньший баллистический коэффициент $c = \frac{id^2}{q} \cdot 1000$. Следовательно, дальнобойные снаряды должны иметь бо́льшую длину снаряда (в калибрах).

Максимальная длина снаряда при стабилизации вращением не должна превышать 7—8 калибров, а еще лучше 6 калибров (названный выше немецкий 20-мм зенитный снаряд «Люфтфауст» имеет длину почти 13 калибров, но даже при $n = 25\,000$ об/мин он имеет мало удовлетворительную стабилизацию, плохую кучность и при этом сопла турбинки наклонены под углом 45°, что приводит к большим потерям реактивной силы, движущей снаряд).

Оперенные снаряды хорошо стабилизируются при длине даже в

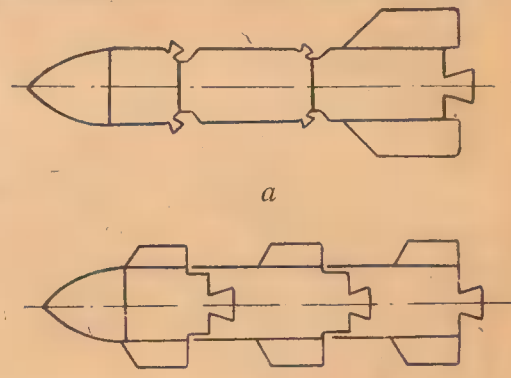
20 калибров. (Зенитный снаряд «Тайфун» $d = 100$ мм; $L = 2\,000$ мм).

Это приводит к выводу, что дальнобойные снаряды должны быть оперенными.

Но короткие турбореактивные снаряды могут иметь бо́льшую кучность, чем оперенные, вследствие уменьшения вредного влияния геометрического и газодинамического эксцентриситета.

Турбореактивные снаряды представляют больше удобств в эксплоатации, и их применение, безусловно, целесообразнее при стрельбе из полуавтоматических установок (упрощение магазинной загрузки).

В некоторых случаях метод стабилизации диктуется тактико-техническими особенностями снаряда. Так, например, экспериментально доказано, что при вращении кумулятивного снаряда его броне- и бетонопробиваемость уменьшаются примерно в два раза. Это обстоятельство настойчиво рекомендует проектировать некоторые образцы реактивных снарядов (например, противотанковые РС) обязательно оперенными.



а

б

Рис. 3. Схемы многокаморных снарядов

Многокаморные реактивные снаряды предназначаются для стрельбы на большие дистанции, имеют, как правило, бо́льшую длину и делаются только оперенными. Необходимость применения нескольких камор объясняется тем, что устойчивое горение весьма длинных пороховых зарядов в реактивной каморе становится невозможным. Кроме того, отделение реактивной каморы на полете дает неограниченные возможности в увеличении скорости реактивного снаряда. Соединение отдельных камор может быть выполнено двумя способами (рис. 3*а* и 3*б*). На рисунке 3*а* изображен снаряд, в котором пороховые заряды в отдельных каморах сгорают одновременно, и выпуск газов производится через сопла, наклоненные к оси снаряда.

Существенного увеличения скорости в этом варианте получить невозможно. В реактивном снаряде, изображенном на рис. 3*б*, пороховые заряды сгорают последовательно. Сначала горит пороховой заряд последней каморы и после того, как окончится истече-

ние газов, через пороховой замедлитель зажигается следующая камора, а последняя камора отбрасывается на полете. Такая схема дает теоретическую возможность получения неограниченной скорости. В рассмотренной схеме из-за отделения камор на полете приходится иметь столько стабилизаторов, сколько камор отделяется на полете.

Улучшение кучности оперенных реактивных снарядов может быть получено проворачиванием снаряда на полете (так называемые снаряды улучшенной кучности). Число оборотов снаряда в 5—10 раз меньше, чем при стабилизации снаряда вращением.

Эффект проворачивания состоит в том, что вектор момента от эксцентрично действующей реактивной силы непрерывно изменяет свое положение, вращаясь вокруг оси снаряда; рассеивание в этом случае уменьшается примерно в 2 раза.

Проворачивание снаряда на полете может быть осуществлено:

1) устройством косонаклоненных лопастей стабилизатора;

2) выпуском части газов через тангенциальные отверстия, обычно расположенные около центра тяжести снаряда;

3) стрельбой с винтовых направляющих.

Первый из указанных методов, наиболее простой в производственном осуществлении, имеет тот существенный недостаток, что скорость проворачивания снаряда с косонаклоненным оперением непропорциональна поступательной скорости снаряда и на начальном участке траектории мала, а для улучшения кучности необходимо усиленное проворачивание на начальном участке полета снаряда.

Второй и третий методы дают улучшение кучности примерно вдвое, но имеют некоторые производственные и эксплоатационные недостатки.

Кроме указанных способов стабилизации, было предложение придавать снаряду первоначальное вращение мотором, а затем его выстреливать. Подобный метод успеха не имел главным образом из-за конструктивной сложности пусковых устройств.

§ 3. ОБЩАЯ КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА

Общая конструктивная схема устройства реактивного снаряда определяется в первую очередь возможным взаимным расположением боевой и реактивной частей.

Естественно, что взаимное расположение боевой и реактивной частей снаряда должно определяться наилучшим использованием его боевых свойств. При проектировании реактивных снарядов имеются широкие возможности располагать боевую и реактивную части в различных комбинациях по длине снаряда (в осевом направлении) и концентрически (в радиальном направлении).

На рис. 1 мы видели расположение боевой части впереди реактивной каморы. Целесообразность такого расположения боевой части относится в первую очередь к снарядам: фугасным, осколочно-фугасным, бронебойным, бетонобойным, кумулятивным и некоторым другим.

При таком расположении боевой части фугасный снаряд успеет углубиться в землю за время, необходимое для действия взрывателя.

На рис. 2 показано заднее расположение боевой части реактивного снаряда, что может быть рекомендовано для снарядов осколочных, химических, дымовых, агитационных, осветительных и др. При таком расположении потери осколков, ОВ, ДВ в земле уменьшаются.

Раскрытие корпуса агитационного или осветительного снаряда производится вышибным зарядом. Заднее расположение боевой части создает лучшую сохранность при вылете: осветительным звездкам, парашютам, агитационной литературе, так как скорость выбрасывания их направлена обратно скорости снаряда. Недостатком этой схемы является трудность изготовления боевой части по диаметру, равной реактивной. Диаметр боевой части ограничивается размером расположения отверстий в турбинке, что уменьшает мощность боевой части. Если же реактивную камору и боевую часть делать одинакового калибра, то сопла должны иметь наклон к оси снаряда, вследствие чего теряется часть реактивной силы.

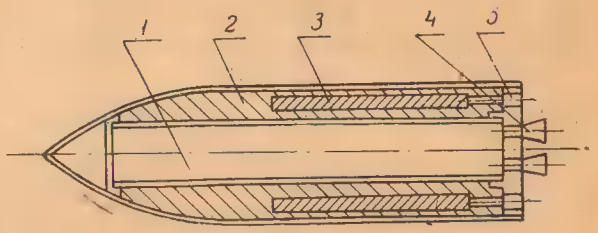


Рис. 4. Схема снаряда с реактивной каморой внутри. 1 — реактивная камора, 2 — дымовое вещество, 3 — разрывной заряд, 4 — сопло, 5 — взрыватель.

В некоторых случаях, например у немецкого зенитного снаряда «Рейнтохтер», боевая часть расположена посредине снаряда. В передней части расположены отсек приборов управления и основная реактивная камора, затем следует боевая часть и стартовая камора.

На рис. 4 изображена схема реактивного снаряда, у которого реактивная камора расположена внутри и облегается боевым веществом. По этой схеме был выполнен 210-мм дымовой снаряд, состоявший на вооружении бывшей германской армии.

Рассмотрение осуществленных конструкций реактивных снарядов, выполненных по этой схеме, показывает, что при такой схеме возможно получить очень высокий коэффициент наполнения.

Особое внимание следует обратить на теплоизоляцию реактивной каморы.

Недостатком схемы является малый диаметр, на котором расположены сопла турбинки; это затрудняет стабилизацию снаряда на полете.

От этого недостатка свободна схема, изображенная на рис. 5, в которой боевая часть помещается внутри реактивной каморы.

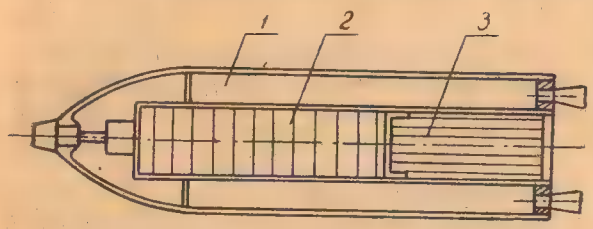
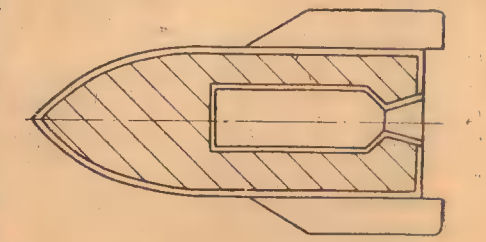


Рис. 5. Схема снаряда с реактивной каморой снаружи.
1 — реактивная камора, 2 — осветительные звездки, 3 — парашют.

По приведенной схеме был выполнен в Германии 210-мм осветительный снаряд для военно-морского флота.

Комбинируя расположение боевой части впереди, внутри и снаружи реактивной каморы, можно спроектировать реактивные снаряды, схемы которых изображены на рис. 6*а* и 6*б*. Такие снаряды целесообразно применять при заданном большом весе ВВ.

По схеме, изображенной на рис. 6*а*, был изготовлен снаряд калибром 380 мм, с весом ВВ 150 кг, но кучность его оказалась недостаточно хорошей. По схеме, изображенной на рис. 6*б*, был изготовлен 280-мм фугасный снаряд с весом ВВ 55 кг и дальностью стрельбы 5 000 м.



а

б

Рис. 6. Схемы снарядов с комбинированно-расположенным боевым зарядом

В снарядах, схема которых изображена на рис. 6*б*, осколочное действие усиливается тем, что происходит разрыв реактивной каморы на осколки. Такое требование к реактивному снаряду вполне целесообразно и поэтому, даже не преследуя цели размещения добавочного количества ВВ, можно рекомендовать помещать в реактивную камору отросток с ВВ, который при разрыве разрушает камору. По такой схеме устроен американский 114-мм снаряд М-8, немецкий 150-мм оперенный снаряд, изготовленный по

типу М-13. Помещая в каморе отросток с ВВ, диаметр которого примерно равен $^1/_{10}$—$^1/_{15}$ диаметра реактивной каморы, можно достигнуть вполне удовлетворительных разрывов реактивной каморы.

В некоторых образцах реактивных снарядов для улучшения дробления реактивной каморы на осколки, когда боевая часть расположена впереди реактивной каморы, были попытки изготовить дно боевой части в виде кумулятивной воронки. Надежных данных о действии боевой части с донной кумулятивной воронкой пока не имеется.

§ 4. ПОРОХОВОЙ РЕАКТИВНЫЙ ЗАРЯД

Для реактивного двигателя можно применять твердое топливо (пороха) и жидкое топливо, состоящее из горючего (бензин, спирт) и окислителя (жидкий или газообразный кислород, азотная кислота). Применение порохов в качестве топлива для реактивных снарядов имеет следующие достоинства:

1) упрощается конструкция снаряда, так как отсутствуют резервуары для хранения отдельных компонентов горючего, а реактивная камора является одновременно и резервуаром для хранения и каморой сгорания; средства подачи горючего в этом случае также не нужны;

2) упрощаются условия хранения снарядов, так как порох достаточно стоек;

3) исключена опасность детонации горючего, которая может возникнуть при применении жидкого топлива.

Однако применение порохов связано с некоторыми недостатками; основные из них:

1) необходимость горения при относительно высоком давлении (реактивные пороха горят при давлении 50—150 кг/см², в то время как давление в жидкостном реактивном двигателе 20—50 кг/см²);

2) трудность регулирования силы тяги во время полета снаряда;

3) трудность создания длительно работающего порохового двигателя. Обычно время горения порохового реактивного снаряда составляет 0,05—3 сек. Имеется лишь единственный пример (пороховой заряд зенитного снаряда «Рейнтохтер-ЗР»), когда время работы порохового двигателя составляет 40 сек, что достигнуто применением медленно горящих порохов и бронированием порохового заряда.

4) Относительно высокая стоимость пороха.

Вначале (до 1933 г.) реактивные пороха были только пироксилиновые и пироксилино-тротиловые, но позднее (с 1936 года) стали применять почти исключительно нитроглицериновые пороха.

В Германии, из-за недостатка целлюлозы, широкое распространение получили динитратдигликолевые пороха.

Были попытки (в Германии) изготовить пороховой реактивный заряд из прессованного черного пороха (принятый даже на вооружение, но затем снятый). Достоинством такого порохового заряда является высокая плотность заряжания до 1,8 кг/дм³ против 1—1,05 у нитроглицериновых порохов. Недостатки — малая сила пороха, малая механическая прочность прессованной шашки, что может привести к разрыву реактивной каморы, и необходимость наличия мощного прессового оборудования.

В Советском Союзе наиболее распространенными являются реактивные пороха марок Н и $НМ_2$; последний имеет присадку окиси магния (MgO), что улучшает характер горения реактивных порохов при низкой температуре.

Помимо общих требований к порохам (однородность состава пороха, физическая стабильность и химическая стойкость, малая чувствительность к удару, трению и т. д.), к реактивным порохам предъявляется ряд специфических требований, как-то:

1. Максимально возможное содержание энергии. Пороха, обладающие наиболее высокой калорийностью — 1 250 кал/кг, не получили широкого применения ввиду недостаточной стабильности их, высокой зависимости давления от температуры и трудности (огнеопасности) при их изготовлении. Практическое применение нашли пороха с калорийностью 800—950 кал/кг. В то же время выгодно применять высококалорийные пороха, так как при одинаковой мощности порохового заряда, при использовании высококалорийного пороха сокращаются размеры реактивной каморы, а следовательно, и уменьшается вес реактивного снаряда.

2. Способность пороха гореть в реактивной каморе при возможно меньшем давлении. Современные реактивные пороха при давлениях, меньших 50 кг/см², горят неустойчиво, выделяют большое количество окислов азота (NO), и в этом случае имеются значительные потери энергии пороха. В то же время при уменьшении давления можно делать более легкую реактивную камору, что способствует повышению скорости и дальности реактивного снаряда.

3. Возможно меньшая зависимость давления от температуры заряда. Если давление в реактивной каморе сильно зависит от температуры заряда, то при стрельбе в условиях различных температур получается резкий разброс давлений, что значительно ухудшает кучность реактивных снарядов. Чтобы уменьшить разброс давлений, немцы применяли так называемые сезонные заряды.

Для стрельбы при низких температурах (от —40 до +10°) порох марки Arkt — с большой калорийностью $\approx$ 950 кал/кг.

Для стрельбы при высоких температурах (+40°) порох марки Tгор — с меньшей калорийностью $\approx$ 790 кал/кг.

В Советском Союзе удалось разработать реактивные пороха, при применении которых разброс давлений при положительных и отрицательных температурах вполне приемлем.

4. Способность нормально гореть при возможно большей длине заряда. При большой длине заряда и малой площади в реактивной каморе для прохода газов получается аномальное горение порохового заряда. Удлинение порохового заряда позволило бы увеличить скорость полета снаряда.

5. Однообразие размеров пороховых элементов, необходимое для рационального размещения их в реактивной каморе.

6. Повышенная механическая прочность реактивного пороха. В связи с большими размерами и весом пороховой шашки могут получаться трещины в заряде, которые приводят к выскокам давления в реактивной каморе. Возможность появления трещин у толстосводных порохов при горении в условиях низкой температуры значительно больше, чем у тонкосводных. Производственно-экономические требования к реактивным порохам те же, что и к обычным (дешевизна, простота, недефицитность исходных материалов).

Форма порохового элемента оказывает большое влияние на баллистические свойства снаряда и его конструктивные размеры, и при ее проектировании необходимо учитывать следующие факторы:

1. Возможность получения наибольшей плотности заряжания. Наибольшую плотность заряжания дает цилиндрическая шашка без канала, но в этом случае заряд дегрессивен, имеет малую оголенность, что приводит к слишком медленному нарастанию скорости, к малой дульной скорости и, как результат этого, к плохой кучности реактивного снаряда. В реактивных снарядах заряд-зерно без канала в настоящее время не применяется. Применение тонкосводных пороховых трубок значительно уменьшает плотность заряжания, которая приводит к уменьшению дальности. Однако большая оголенность тонкосводного порохового заряда дает быстрое нарастание скорости, большую дульную скорость и, как результат этого, высокую кучность; поэтому такой пороховой заряд применяется там, где эта высокая кучность необходима, например, противотанковое вооружение, стартовые каморы реактивных снарядов.

2. Возможность уменьшения отношения максимального давления к среднему. Этот фактор, очевидно, оказывает влияние на вес снаряда, так как определение толщины стенки каморы ведется по наибольшему давлению. В Германии уменьшение отношения $\frac{P_{max}}{P_{ср}}$ стремились достигнуть разработкой и применением порохов сложного профиля (рис. 7*а*, 7*б*, 7*в*) и частичным бронированием элементов поверхности шашек.

3. Учет производственно-экономических требований и в ряде случаев специальных тактико-технических требований.

В осуществленных конструкциях реактивных снарядов наибольшее распространение получили следующие формы порохового заряда:

1) толстосводная шашка с одним каналом — для реактивных снарядов средней и большой дальностей;

2) тонкосводная шашка с одним каналом — для противотанковых реактивных снарядов;

3) зерно Уолша с одним или несколькими каналами.

Сложные формы порохов (рис. 7) пока не распространены.

Применять телескопический порох (тонкосводные трубчатые шашки, вставленные одна в другую) нецелесообразно главным образом ввиду трудностей изготовления.

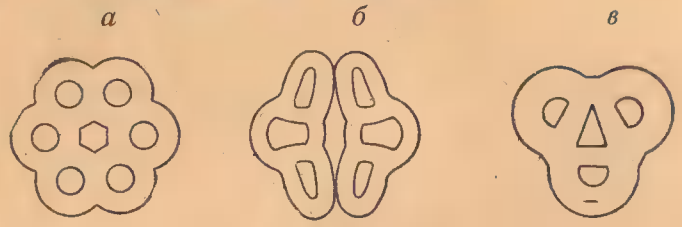


Рис. 7. Формы пороховых элементов.

Возможно применять гофрированный тонкосводный порох в виде широкой полосы, свертываемой в рулон.

Пороховые шашки, применяющиеся для реактивных снарядов, имеют следующие примерные допуски на изготовление:

на наружный диаметр . . . . . $\pm 1\%$
на внутренний диаметр . . . . . $\pm 5—8\%$
на длину . . . . . $\pm {}^1/_2\%$.

Весовой допуск на пороховой заряд равен $\pm \frac{1}{2} \div 1\%$, причем разрешается одну из шашек порохового заряда для подгонки по весу делать короче.

Реактивный пороховой заряд, помещенный в камору, должен быть герметизирован. Для герметизации в сопло снаряда вставляют либо картонный кружок, либо станиолевую прокладку, либо помещают в сопло силикагель, поглощающий влагу.

Для воспламенения порохового заряда в реактивной каморе размещается один или несколько воспламенителей. Воспламенитель представляет навеску (либо прессованную шашку) дымно-ружейного пороха, или пористого пироксилина, или специального пиротехнического состава. В начальный период горения воспламенитель создает первоначальное давление, необходимое для надежного зажжения порохового заряда. Согласно опытам, величина этого первоначального давления примерно должна быть равна при:

$t = +15°C$ $\quad P_{нач} = 80$ кг/см²
$t = -50°C$ $\quad P_{нач} = 100$ кг/см².

Вес воспламенителя является функцией начальной поверхности заряда, плотности заряжания, размера критического сечения сопла и некоторых других параметров и определяется по эмпирическим формулам, составленным многими авторами.

Часто применяют комбинированный воспламенитель — одна часть из дымно-ружейного пороха (д. р. п.) для быстрого зажжения, вторая часть из пиротехнического состава. Размещение воспламенителя в нижней части каморы у сопла, на диафрагме, не обеспечивает надлежащего зажжения всего порохового заряда. Необходимо основной воспламенитель располагать в верхней донной части реактивной каморы или же среди шашек порохового заряда. Задний диафрагменный воспламенитель играет роль передаточного; от него луч пламени либо непосредственно, либо через стопиновую нить передает пламя на основной воспламенитель.

Большой проблемой явилось зажигание реактивных порохов в многоступенчатой ракете на большой высоте в условиях пониженного давления. Обычные воспламенители из черного пороха обеспечивали зажигание при давлении не ниже 0,25 кг/см².

Смесь нитроглицеринового пороха и магниевого состава обеспечивает воспламенение при давлении $\approx 0{,}05$ кг/см².

§ 5. ОСНОВНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ БАЛЛИСТИКИ ПОРОХОВЫХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

В этом параграфе кратко излагаются основные положения и формулы (без выводов) теории пороховых реактивных снарядов, знание которых необходимо для более полного понимания и оценки устройства реактивных снарядов.

1. Использование энергии и пороха в реактивном снаряде наиболее выгодно тогда, когда скорость истечения газов из реактивной каморы наибольшая. При истечении газов из реактивной каморы скорость газа увеличивается, если сопло сужается, но только до тех пор, пока скорость газа меньше скорости звука. Когда скорость газа достигает скорости звука, дальнейшее ее увеличение возможно лишь при расширяющемся сопле. Сопло, удовлетворяющее указанным условиям (сужающееся до некоторого наименьшего предела, а затем расширяющееся), носит название сопла Лаваля.

Скорость истечения газа из сопла Лаваля зависит только (для пороховых газов) от конструктивных размеров сопла и силы пороха и может быть определена по формуле:

$$U = \varphi_1 F_v(\zeta) \sqrt{f_0} \qquad (1)$$

где:

U — действительная скорость истечения пороховых газов м/сек;

φ_1 — опытный коэффициент, учитывающий потери скорости в сопле $\approx 0{,}93$;

$F_v(\zeta)$ — функция, зависящая от отношения диаметров выходного и критического сечения сопла (определяется по табл. 2).

f_0 — приведенная сила пороха; для нитроглицеринового пороха $\approx 74.000 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{кг}}$

Таблица 2

ζ	$F_v(\zeta)$	$F_r(\zeta)$	ζ	$F_v(\zeta)$	$F_r(\zeta)$	ζ	$F_v(\zeta)$	$F_r(\zeta)$
1,0	3,30	1,32	2,1	6,92	1,63	3,2	7,68	1,73
1,1	4,82	1,38	2,2	7,03	1,64	3,3	7,74	1,74
1,2	5,20	1,42	2,3	7,13	1,65	3,4	7,78	1,74
1,3	5,52	1,46	2,4	7,21	1,66	3,5	7,81	1,75
1,4	5,82	1,49	2,5	7,29	1,67	3,6	7,84	1,75
1,5	6,11	1,52	2,6	7,36	1,68	3,7	7,87	1,76
1,6	6,30	1,54	2,7	7,42	1,69	3,8	7,90	1,76
1,7	6,46	1,56	2,8	7,48	1,70	3,9	7,93	1,77
1,8	6,59	1,58	2,9	7,54	1,71	4,0	7,96	1,77
1,9	6,72	1,60	3,0	7,59	1,72	4,5	8,10	1,79
2,0	6,82	1,62	3,1	7,64	1,72	5,0	8,21	1,80

В конструкторских и баллистических расчетах удобнее пользоваться не истинной скоростью истечения, а так называемой эффективной скоростью истечения U_e, которая примерно на 10% выше истинной скорости истечения и может быть определена по следующей формуле:

$$U_e = \frac{g \cdot \varphi_1}{a} - F_r(\zeta) \cdot \sqrt{f_0}, \qquad (1a)$$

где a — коэффициент, зависящий от состава газов (для пороховых газов $a \approx 2{,}06$); функция $F_r(\zeta)$ зависит от отношения выходного и критического сечения сопла и может быть взята из табл. 2.

2. Количество газов, вытекающих из реактивной каморы в секунду, может быть определено по формуле:

$$G = \frac{\varphi_2 a \sigma_к p}{\sqrt{f_0}}, \qquad (2)$$

где:

φ_2 — опытый коэффициент, учитывающий сжатие струи $\approx 0{,}95$,

$\sigma_к$ — площадь критического сечения сопла,

p — давление в реактивной каморе.

3. При истечении пороховых газов из каморы развивается реактивная сила P, действующая на реактивный снаряд.

Величина реактивной силы P определяется формулой:

$$P = \varphi_1 \varphi_2 \sigma_к p F_r(\zeta), \qquad (3)$$

где значения отдельных коэффициентов φ_1, φ_2 и функции $F_r(\zeta)$ те же, что и в формулах (1), (1а) и (2).

Чем больше значение

$$\zeta = \frac{d_a}{d_к},$$

где

d_a — диаметр выходного отверстия сопла,

$d_к$ — диаметр критического сечения сопла,

тем величина реактивной силы больше и тем скорость снаряда выше.

Однако делать чрезмерно большое значение $\frac{d_a}{d_к}$ нерационально, так как при этом увеличивается вес сопла, а следовательно, и вес всего снаряда; размер d_a может выйти за габариты снаряда, технологические трудности изготовления сопла возрастают.

Из опыта следует, что увеличивать $\frac{d_a}{d_к}$ более чем в 2,5 раза, неразумно, тем более, что увеличение $F_r(\zeta)$ при $\zeta > 2{,}5$ очень невелико. В некоторых снарядах, например, в немецком зенитном снаряде „Тайфун“, принято:

$$d_a = 27 \text{ мм}; \quad d_к = 18 \text{ мм}; \quad \zeta = 1{,}5.$$

Если принять, что $\zeta = 2{,}5 : \varphi_1 = 0{,}93$ и $\varphi_2 = 0{,}95$, то из формулы (3)

$$P \approx 1{,}5 p \sigma_к. \qquad (4)$$

Полный импульс реактивной силы

$$I = \int P dt.$$

Импульс реактивной силы, отнесенный к одному килограмму пороха, т. е. $\frac{I}{\omega}$, где ω — вес порохового заряда, называется единичным импульсом и для существующих марок порохов и конструкций сопел меняется в весьма узких пределах

$$I_1 = 190 - 205 \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{кг}}.$$

Единичный импульс связан с эффективной скоростью истечения соотношением:

$$U_e = I_1 g,$$

где g — ускорение силы тяжести.

Для предварительных расчетов можно принимать $U_e = 2000$ м/сек.

4. Максимальная скорость реактивного снаряда может быть определена по формуле Циолковского

$$v_{max} = U_e \ln\left(1 + \frac{\omega}{q}\right), \qquad (5)$$

где

ω — вес порохового заряда,

q — пассивный вес снаряда.

При выводе формулы (5) не учтено уменьшение скорости снаряда от действия его собственного веса и сопротивления воздуха.

Формула (5) может быть апроксимирована следующим выражением:

$$v_{max} = \frac{U_e}{\frac{q}{\omega} + \frac{1}{2}}. \qquad (6)$$

Точность апроксимации зависит от отношения $\frac{q}{\omega}$ и равняется

Отношение $\frac{q}{\omega}$	1	2	5	10
Точность апроксимации в %	3,5	1,8	0,2	0,02

Точность подсчетов по приведенным формулам видна из табл. 3.

Таблица 3

Снаряд			Снаряд			
	М-8	Тайфун		М-8	Тайфун	
$q_{кг}$	7,0	13,2	$F_r(\zeta)$	1,65	1,52	
$\omega_{кг}$	1,2	11,6	U м/сек	1790	1545	В расчетах принято:
$d_к$ мм	19	18	U_e м/сек.	1985	1830	
d_a мм	43	27	$P_{кг}$ (ф-ла 3) . .	826	2435	$f_0 = 74000 \frac{кг.м}{кг}$
$\sigma_к$ см²	2,84	17,82	$P_{кг}$ (ф-ла 4). . .	850	2673	
p кг/см²	200	100	V_{max} (ф-ла 5) м/сек	313,9	1152	
ζ	2,26	1,5				
$F_v(\zeta)$	7,09	6,11	V_{max} (ф-ла 6) м/сек	313,5	1116	

Из табл. 3 видно, что если для снаряда М-8, имеющего $\zeta = 2{,}26$, близкую к оптимальному, безразлично по каким формулам определять величину реактивной силы и максимальную

скорость, то для снаряда Тайфун определение V_{max} и P по приближенным формулам (4) и (6) может быть принято только для предварительных подсчетов.

5. Максимальное давление в реактивной каморе определяется приходом и расходом пороховых газов с учетом изменения свободного объема внутри реактивной каморы при сгорании порохового заряда. Если не учитывать изменение свободного объема каморы, то с точностью 5—10% можно определить максимальное давление в ней из условия равенства прихода и расхода газов. Очевидно, количество поступающих газов

$$G_{пр} = Su \cdot \delta, \qquad (7)$$

где:

S — поверхность горения пороха в данный момент времени, зависящая от величины ψ — отношения сгоревшей части пороха к первоначальной;

u — скорость горения пороха в реактивной каморе, причем $u = u_1 p^\nu$. Как известно, величина ν — для горения пороха в стволе орудия принимается равной единице. Для устойчивого горения пороха в реактивной каморе должно быть $\nu < 1$. Согласно многочисленным опытам $\nu \approx 0{,}7$;

u_1 — некоторая постоянная величина, зависящая от сорта пороха.

δ — удельный вес пороха.

Если принять за единицу измерений для p — кг/см², u — мм/сек, то $u_1 = 0{,}37$. На величину u_1 оказывает влияние параметр $\varkappa$, равный отношению поверхности горения порохового заряда к свободной площади поперечного сечения каморы. Чем больше значение $\varkappa$, тем выше скорость горения пороха. Связь между скоростью горения и параметром $\varkappa$ устанавливается опытным путем. Обычно величина $\varkappa$ колеблется в пределах 160—240. При больших значениях $\varkappa$ происходит затухание порохового заряда.

Итак, соединяя уравнения (2) и (7), получим:

$$\frac{\varphi_2 a \sigma_к p}{\sqrt{f_0}} = \delta S u_1 p^\nu. \qquad (8)$$

Максимальное давление в реактивной каморе соответствует некоторой величине ψ^*, которая является функцией плотности заряжания и давления в каморе. Следовательно, задавшись максимальным давлением, зная параметры реактивной каморы, можно определить ψ^*, соответствующие размеры S и u_1, а затем определить диаметр критического сопла.

Определять диаметр критического сечения сопла следует с большой точностью (обычно с точностью до сотых долей миллиметра).

Итак, из формулы (8) видно, что для одной и той же реактивной каморы и порохового заряда максимальное давление будет тем меньше, чем больше критический диаметр сопла. Поэтому возникает очень важный вопрос о выборе максимального давления в реактивной каморе. Вопрос этот чрезвычайно сложный и окончательного решения еще не получил.

Уменьшение давления в реактивной каморе вызывает уменьшение ее веса, так как по приближенной формуле толщина стенки реактивной каморы пропорциональна давлению. Толщина стенки каморы может быть определена по формуле

$$\delta = \frac{p \cdot D}{2\sigma},$$

где:

δ — толщина стенки каморы,

D — диаметр реактивной каморы,

σ — допускаемое напряжение в каморе.

Таким образом, при уменьшении давления в каморе вдвое, вес ее примерно во столько же раз уменьшается. Вес реактивной каморы составляет 30—60% пассивного веса снаряда. Следовательно, уменьшение давления должно дать значительный прирост скорости реактивного снаряда. Однако с уменьшением давления имеется ряд отрицательных факторов:

1) увеличиваются время горения порохового заряда и теплопотери реактивной каморы;

2) уменьшаются единичный импульс, допустимое значение $\varkappa$ и дульная скорость снаряда;

3) возможно аномальное горение порохового заряда в конце сгорания.

Кроме того, существует определенная толщина стенки каморы, выбираемая с учетом эксплоатационных и конструктивных соображений.

Исходя из практического опыта, установлено, что наиболее целесообразными являются давления в реактивной каморе порядка 120—180 кг/см² при $t = 15°C$. Если учесть, что при приемке порохов допускаются выскоки давления, равные $\pm 12\%$ и повышение давления при росте температуры порохового заряда, а именно, $\frac{p_{40}}{p_{15}} = 1{,}34$, то расчетные максимальные давления $p_{\text{расч}} = 1{,}12 \cdot 1{,}34 \cdot (120—180) \approx 180 — 270$ кг/см².

Существующие реактивные снаряды рассчитываются на эти давления.

Снаряд Тайфун имеет $p_{\text{расч}} = 200$ кг/см².

Большинство отечественных и немецких снарядов рассчитано на давление, равное 300 кг/см².

6. Траектория реактивного снаряда разбивается на два участка — активный (ab) и пассивный (bcd), рис. 8. Величина активного участка зависит от времени горения порохового заряда и может колебаться от нескольких метров (быстрогорящие пороха, сгорающие на направляющих) до нескольких сот метров или до нескольких километров. Расчет пассивного участка траектории реактивного снаряда ведется по обычным методам внешней баллистики, поэтому здесь только приблизительно оценим основные параметры активного участка полета снаряда, а именно:

а) скорость снаряда в конце активного участка,

б) длину дуги активного участка,

в) угол наклона касательной в конце активного участка.

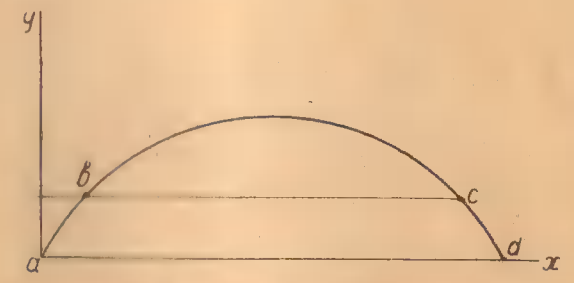


Рис. 8. Траектория реактивного снаряда.

Для нахождения скорости реактивного снаряда в конце активного участка траектории необходимо в формулу (5) ввести добавочные члены, учитывающие потерю скорости из-за сопротивления воздуха и силы тяжести снаряда.

Для существующих типов пороховых реактивных снарядов значение скорости, подсчитанное с учетом действия сопротивления воздуха и действия силы тяжести, на 2—8% меньше значения скорости, определяемой по формуле Циолковского. Бо́льшие цифры потерь относятся к снарядам с большими скоростями порядка 1 000 м/сек.

Длина дуги активного участка траектории может быть определена из допущения о равноускоренном движении снаряда на активном участке траектории, что соответствует действительности с достаточной для практики точностью.

Следовательно, будем иметь:

$$s_a = \frac{v_{\text{шах}}\tau}{2}, \qquad (9)$$

где τ — полное время горения порохового заряда.

Формула (9) не учитывает уменьшения длины активного участка под действием силы сопротивления воздуха и силы тяжести. Учет этих сил дает уменьшение длины активного участка в существующих конструкциях реактивных снарядов на 2—5%.

Понижение угла наклона касательной к траектории в конце активного участка определяется по формулам, приводимым в курсах теории пороховых реактивных снарядов, и величина понижения для штатных реактивных снарядов колеблется в пределах 1—3°.

7. Рассеивание реактивных снарядов непосредственно связано с их колебательным движением на активном участке траектории. Ввиду математической сложности вопроса, ограничимся перечислением основных факторов, влияющих на рассеивание реактивных снарядов.

Задача определения величины рассеивания для оперенных реактивных снарядов была решена в работах проф. Гантмахера Ф. Р. и Левина Л. М. (ЦАГИ) и проф. Шапиро Я. М.

При движении реактивного снаряда реактивная сила приложена не точно по оси снаряда, а эксцентрично. Полная величина эксцентриситета реактивной силы складывается из геометрического эксцентриситета, зависящего от производственных неточностей при изготовлении снаряда, и газодинамического эксцентриситета, зависящего от несимметричности газовой струи.

В среднем газодинамический эксцентриситет примерно в два раза больше геометрического.

При отклонении оси снаряда от касательной к траектории на некоторый угол на снаряд действуют реактивная сила, направленная под некоторым углом к оси снаряда, сила лобового сопротивления воздуха, подъемная (боковая) сила и момент реактивной силы, стабилизирующий и тушащий моменты.

Под действием этих сил и моментов ось снаряда колеблется относительно касательной к траектории, причем эти колебания — быстрозатухающие. Сама траектория отклоняется от плоскости бросания, и максимальный угол отклонения траектории получается в первой половине активного участка траектории, после чего его изменения невелики. Величина этого угла определяет величину бокового рассеивания реактивных снарядов и определяется формулой

$$\psi = \frac{\Delta \cdot Q}{A \cdot \sigma} \cdot z; \qquad (10)$$

где:

Δ — суммарный эксцентриситет реактивной силы;

Q — вес снаряда;

A — экваториальный момент инерции снаряда;

σ — функция, зависящая от геометрических характеристик снаряда и мощности оперения;

z — функция, определяемая длиной направляющих, длиной активного участка и фукцией σ.

Анализ уравнения (10) показывает, что:

а) боковое рассеивание пропорционально величине эксцентриситета;

б) при увеличении мощности оперения увеличивается величина σ и уменьшается z, а следовательно, рассеивание уменьшается;

в) при удлинении направляющих уменьшается величина z — рассеивание уменьшается;

г) при уменьшении времени горения заряда уменьшается длина активного участка, уменьшается величина z, а следовательно, и рассеивание;

д) при удлинении снаряда, при всех прочих равных условиях, увеличивается вес снаряда Q, но экваториальный момент инерции увеличивается пропорционально квадрату длины. Поэтому кучность более длинного снаряда должна быть лучше. На практике, однако, наблюдается примерно одинаковая кучность длинных и коротких снарядов, что, повидимому, связано с увеличением эксцентриситета длинных снарядов.

§ 6. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ПУСКОВЫХ УСТАНОВКАХ

В зависимости от типа снаряда и его тактического применения меняется способ его выстреливания, а следовательно, и конструкция пускового устройства.

Высокие тактико-технические качества того или иного снаряда должны дополняться теми же свойствами пусковых установок, поэтому при конструировании, а равно и при боевом применении реактивных снарядов, необходимо знать основные положения о пусковых установках.

Незадолго до войны и в период второй мировой войны в основных воюющих странах были созданы пусковые установки для реактивных снарядов.

В Советском Союзе — это установки БМ-8-48, БМ-13-16, БМ-31-12 для стрельбы снарядами М-8, М-13, М-31.

Эти боевые машины — многоствольные установки с числом стволов от 12 до 48, смонтированные на автомашинах, обладают высокой маневренностью и дают мощный шквальный огонь. Кроме того, в Советском Союзе были созданы станки для стрельбы из укупорки.

В бывшей немецкой армии были созданы пяти-, шести- и десятиствольные минометы, монтированные на прицепе, бронетранспортере. У немцев имелись также станки для стрельбы из укупорки.

В армии США был создан ряд пусковых многоствольных установок, монтированных на танках, автомобилях, плавучих баржах. Кроме того, американцы создали установку для полуавтоматической стрельбы реактивными снарядами. По сравнению с много-

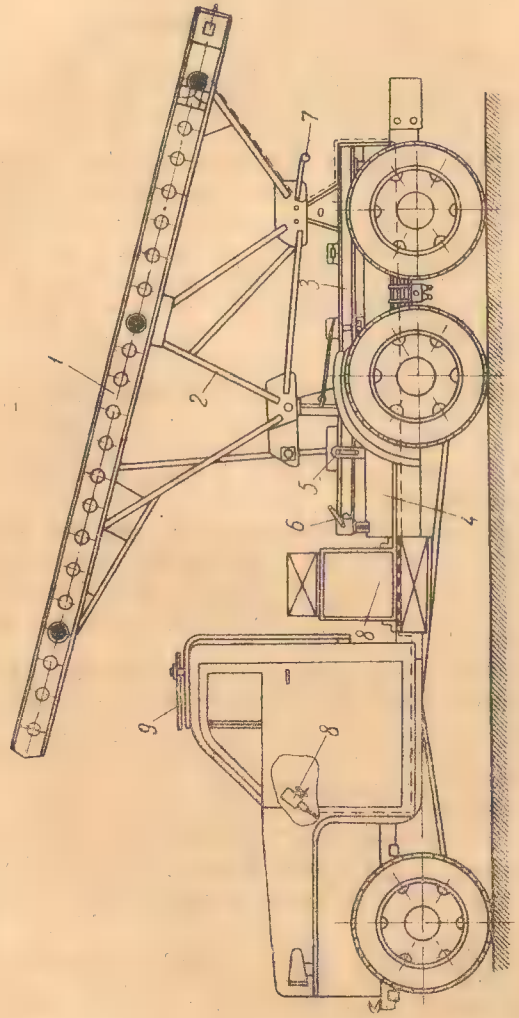


Рис. 9. БМ-13-16

ствольными установками такая полуавтоматическая система экономичней в весе.

Рассмотрим пусковые установки для сухопутных вооруженных сил, которые могут быть классифицированы следующим образом:

1. Самоходные пусковые установки, примером которых могут служить отечественная пусковая установка БМ-13-16 (рис. 9), десятиствольный немецкий миномет (рис. 10), смонтированный на бронетранспортере, 4,5-дюймовый американский ракетомет Т-34 (рис. 11), смонтированный на среднем танке.

Самоходные пусковые установки являются наиболее совершенным видом пусковых устройств, так как они имеют наибольшую маневренность.

2. Пусковые установки на прицепах получили наибольшее распространение в бывшей немецкой армии. На рис. 12 показан 5-ствольный миномет для стрельбы 210-мм осколочно-фугасными снарядами.

3. Пусковые станки (рис. 13) применялись в советской и бывшей немецкой армиях. Этот способ стрельбы несколько примитивен, так как теряется высокая маневренность. В дальнейшем этот способ будет, повидимому, применяться только в некоторых случаях, главным образом при стрельбе по одиночным целям и специальными снарядами.

4. Противотанковые ружья, представителями которых являются отечественный СПГ-82, немецкое ружье «Оффенрор», американское ружье «Базука» и др.

5. Пусковые зенитные системы, как правило, многозарядные, могут быть как стационарного, так и передвижного типа.

На рис. 14 показана схема зенитной пусковой установки для снаряда типа «Тайфун» на 24 ствола, монтированная на лафете 85-мм зенитной пушки.

Типовой пусковой установкой для оперенных реактивных снарядов является БМ-13-16, состоящая из следующих основных узлов (см. рис. 9):

1) пакет направляющих,
2) ферма,
3) поворотная рама,
4) подрамник или основание,
5) подъемный механизм,
6) поворотный механизм,
7) прицельное приспособление,
8) система электровоспламенения,
9) бронезащита (защита от струи газов).

Пакет направляющих, состоящий из отдельных направляющих, является основным узлом всякой установки. Число направляющих, устанавливаемых на одной машине, определяется главным образом грузоподъемностью машины и весом снаряда, выстреливаемого с установки. Чтобы можно было разместить наибольшее количество

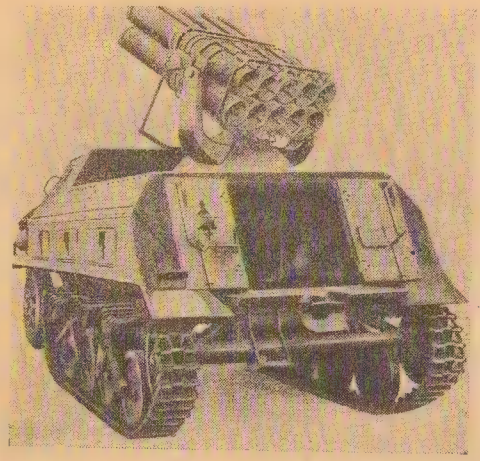


Рис. 10. Десятиствольный немецкий миномет.

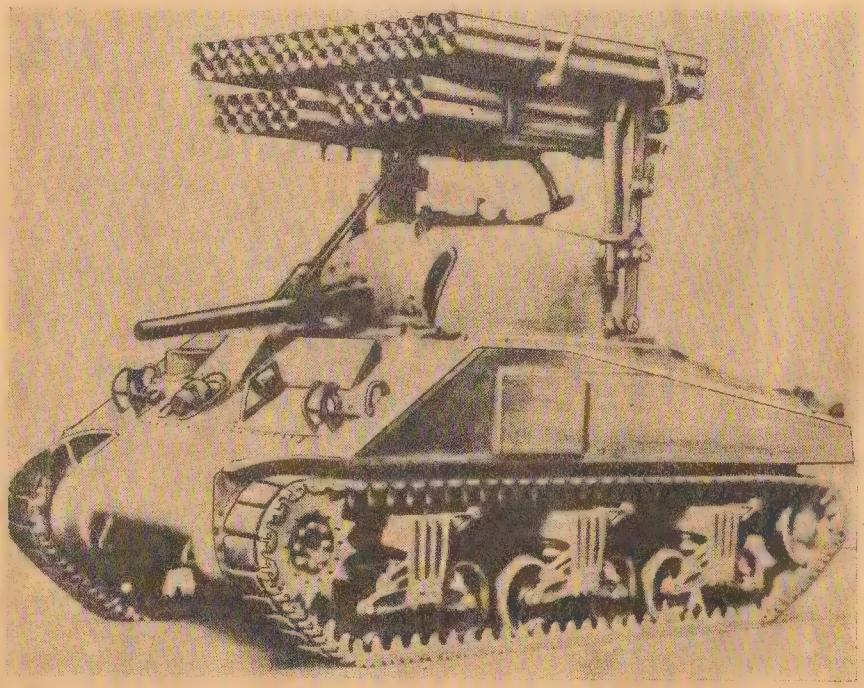


Рис. 11. 4,5-дюймовый ракетомет Т-34.

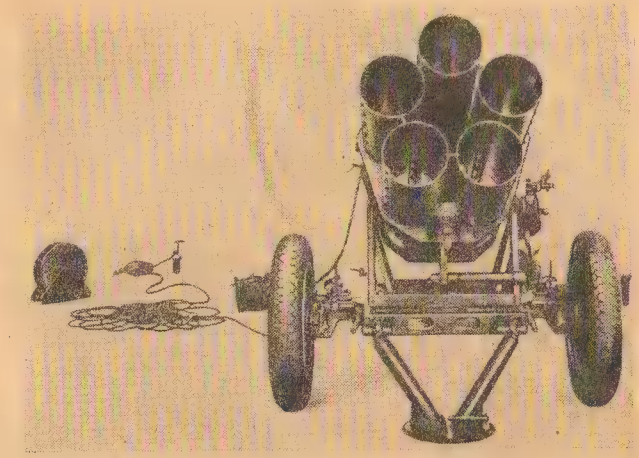


Рис. 12. Пятиствольный 210-мм миномет.

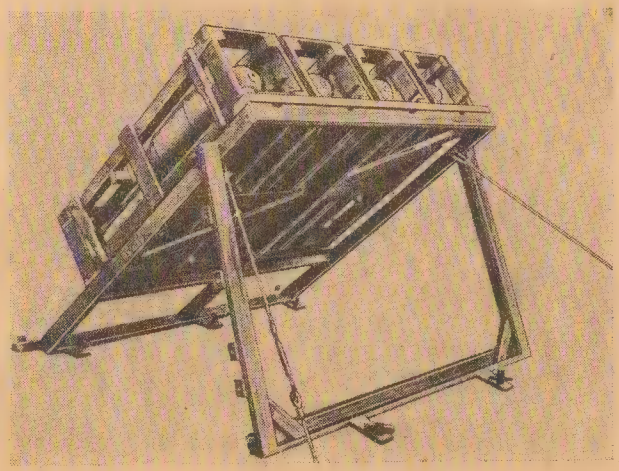


Рис. 13. Пусковой станок.

стволов, необходимо конструкцию всех узлов установки делать возможно легче.

Формы направляющих зависят от конструкции снаряда, условий стрельбы и могут быть классифицированы следующим образом:

1. Направляющие трубчатого типа (рис. 15,а) применялись в немецких шестиствольных минометах, противотанковых ружьях и американском ракетомете Т-34; постановка внутри труб угольников (рис.15, *б*), наличие отбортовок (рис. 15, *в*) диктуется технологическими причинами, так как в этом случае легче достижима точная калибровка размера *d*; этот тип направляющих применяется в основном для турбореактивных снарядов.

2. Направляющие корытного типа (рис. 16) широко применяются в отечественных пусковых установках. Конструктивно они выполнены из двутавровой балки с простроганным пазом и приклепанными уголками, что и придает направляющим корытообразную форму.

3. Направляющие сотового типа (рис. 17) применяются для снарядов главным образом крупного калибра. Они состоят из труб (1), скрепленных обоймами (2), благодаря чему эти направляющие имеют малый вес.

4. Винтовые направляющие (рис. 18) применяются для того, чтобы сообщить проворачивание снаряду для улучшения его кучности. Одна из труб сотовой конструкции заменена ведущим стержнем (1) переменной или постоянной крутизны.

5. Направляющие лоткового типа (рис. 19) применяются в тех случаях, когда оперенный снаряд не имеет штифтов, либо инерционная нагрузка на эти штифты очень большая. Подобного типа направляющая применена в английских зенитных установках.

6. Направляющие смешанного типа, которые могут быть скомбинированы из описанных выше типов направляющих. Так, например, один конец направляющей может представлять трубу, а другой конец может быть срезан по форме полуцилиндрического корыта.

Отдельные направляющие можно соединить в пакет направляющих различными способами, причем наиболее распространенными способами являются:

а) разъемные пакеты направляющих, т. е. такие, в которых отдельные направляющие укрепляются на поперечных направляющих помощью резьбового соединения; отдельные направляющие могут быть изъяты из целого пакета. Правильность установки отдельных

направляющих (параллельность) регулируется в этом случае наиболее просто;

б) неразъемные пакеты направляющих, т. е. такое соединение их, когда они сварены и не могут быть разобраны; в этом случае достигается достаточная точность и наибольшая простота конструкции; недостатком является невозможность замены направляющей в случае ее порчи;

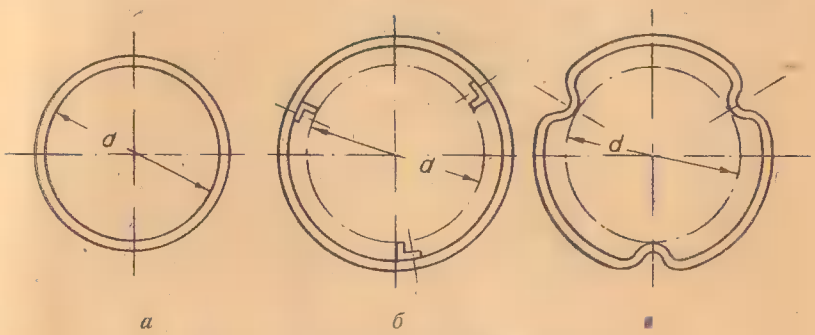


Рис. 15. Направляющая трубчатого типа.

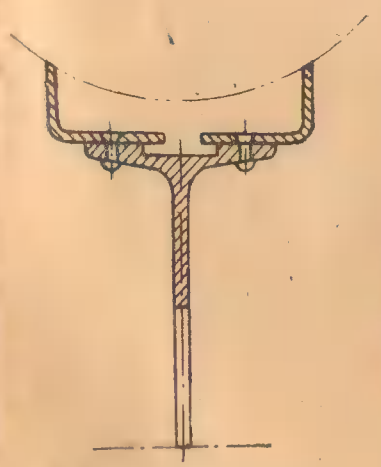


Рис. 16. Направляющая корытного типа.

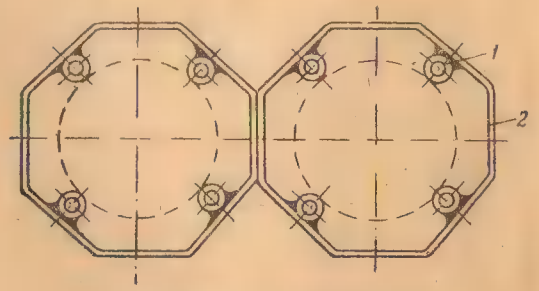


Рис. 17. Сотовая направляющая.

в) может быть осуществлен промежуточный (между первым и вторым) способ соединения направляющих, а именно, отдельные направляющие соединяются неразъемно в кассеты, а весь пакет состоит из разъемных кассет.

броня защищает стреляющего от действия газовой струи. Если установка монтирована на обычной машине, то кабина шофера, откуда обычно ведется стрельба, покрывается броневыми листами толщиной 3—5 мм.

§ 7. ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

В настоящее время имеется значительное количество отечественных и иностранных образцов реактивных снарядов, на основании которых можно дать ряд средних коэффициентов, характеризующих различные типы снарядов. В отличие от снарядов стволь-ной артиллерии реактивный снаряд включает в себя пороховой двигатель, размеры которого влияют на дальность полета снаряда. Поэтому, в отличие от обычных артиллерийских снарядов, ряд характеристик реактивных снарядов (например, относительный вес снаряда C_q) может колебаться в более широких пределах, чем подобные характеристики снарядов ствольной артиллерии.

Попутно следует ввести некоторые новые обозначения, а именно:

$$C_q = \frac{q}{D_н^3} = \frac{q_б + q_р}{D_н^3} = \frac{q_б}{D_н^3} + \frac{q_р}{D_н^3} = C_{qб} + C_{qр},$$

где:

$q_б$ — вес боевой части,
$q_р$ — вес реактивной части,
$C_{qб}$ — относительный вес боевой части,
$C_{qр}$ — относительный вес реактивной части.
$D_н$ — калибр снаряда.

В табл. 4 приведены некоторые средние характеристики реактивных снарядов.

Таблица 4

№ по пор.	Характеристики	Оперенные снаряды		Турбореактивные снаряды		Кумулятивные снаряды (противотанковые)
		осколочные и осколочно-фугасные	фугасные	осколочные и осколочно-фугасные	фугасные	
1	Длина снаряда, клб	8—20	8—20	4— 8	4— 8	5— 7
2	Относительный вес снаряда, $C_q = \frac{q}{D_н^3}$ . . .	15—30	12—25	8—15	8—12	4— 8
3	Относительный вес разрывного заряда $C\omega_{вв} = \frac{\omega_{вв}}{D_н^3}$	2— 4	3— 8	1,0—2,0	1,5—3,0	1—2
4	Коэффициент наполнения $\alpha = \frac{\omega_{вв}}{q_б}$ . . .	15—35%	30—60%	15—35%	30—60%	15—25%
5	Относительный вес боевой части $C_{qб} = \frac{q_б}{D_н^3}$	5—15	5—15	3— 8	3— 8	8—20
6	Толщина стенок боевой части, клб . . .	0,1	0,02—0,03	0,1	0,02—0,03	0,01—0,02
7	Толщина стенок реактивной части, клб . .	0,02—0,04	0,02—0,04	0,02—0,04	0,02—0,04	0,03—0,09
8	Толщина горящего свода пороха, клб $= 2e_1/D$	0,10—0,40	0,10—0,40	0,08—0,15	0,08—0,15	0,02—0,05

Продолжение

№ по пор.	Характеристики	Оперенные снаряды		Турбореактивные снаряды		Кумулятивные снаряды (противотанковые)
		осколочные и осколочно-фугасные	фугасные	осколочные и осколочно-фугасные	фугасные	
9	Плотность заряжания Δ кг/дм³	0,9—1,4	0,9—1,4	0,8—1,1	0,8—1,1	0,5—0,8
10	Максимальное давление в каморе P_{max} кг/см²	120—200	120—200	120—200	120—200	400—1000
11	Относительный вес стабилизирующего устройства $q_{стаб}/q$	≈ 0,1	≈ 0,1	≈ 0,1	≈ 0,1	≈ 0,05
12	Размах и длина оперения, клб $\frac{L_{оп}}{D_{оп}}$	$\frac{2,0—2,5}{2,0—2,5}$	$\frac{2,0—2,5}{2,0—2,5}$	—	—	$\frac{1—1,5}{1}$
13	Отношение дульной скорости к максимальной $v_д/v_{max}$	≈ 0,2	≈ 0,2	≈ 0,2	≈ 0,2	0,4—1,0

ГЛАВА II

МАТЕРИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

За последние 10—15 лет, когда особенно усиленно начали разрабатываться реактивные боеприпасы, создано несколько сот образцов реактивных снарядов, прошедших испытания с удовлетворительными результатами и частично принятых на вооружение. Полного описания этих образцов здесь не приводим из-за ограниченности объема книги и отсутствия полного материала. Здесь также не описываются реактивные снаряды, применявшиеся в прошлом веке, так как основные образцы из них описаны в соответствующих учебниках [1]. Помимо описания основных образцов реактивных снарядов, принятых на вооружение, в этой работе приводим краткое описание некоторых образцов реактивного оружия, которые не были приняты на вооружение. Это, во-первых, избавит конструкторов от повторения ошибок, во-вторых, в этих образцах иногда заложены ценные идеи, которые по некоторым причинам только временно не могли быть реализованы.

При рассмотрении отдельных образцов принята следующая классификация реактивных снарядов:

А. РС наземной артиллерии.
Б. РС противотанковой артиллерии.
В. РС зенитной артиллерии.
Г. РС для бортового вооружения самолетов.
Д. РС дальнего действия.

При описании образцов реактивных снарядов по приведенной выше классификации мы считаем нужным осветить, хотя бы кратко, следующие вопросы:

а) история возникновения основных образцов реактивных снарядов рассматриваемой группы;

б) основные тенденции в их развитии;

в) критическая оценка тактических, баллистических, служебных и производственно-экономических характеристик реактивных снарядов.

[1] Шапиро Я. М., Теория пороховых реактивных снарядов, изд. Артакадемии, 1946 г.

Укупорка, окраска, маркировка, ремонт и служебное обращение с РС здесь не рассматриваются, так как применительно к каждому снаряду эти вопросы разобраны в соответствующих руководствах [1], а основные принципиальные положения будут изложены в главе 5.

Отдельные образцы реактивных снарядов иностранных армий описываются по материалам, опубликованным в советской и иностранной периодической литературе.

А. ПОЛЕВАЯ НАЗЕМНАЯ РЕАКТИВНАЯ АРТИЛЛЕРИЯ

Из всех видов реактивной артиллерии полевая реактивная артиллерия получила наибольшее развитие. На вооружении воюющих государств во второй мировой войне (СССР, Германия, США, Англия) имелись образцы реактивного оружия, причем большинство из них принадлежало к наземной артиллерии.

За годы войны были созданы различные реактивные снаряды калибром 80 — 400 мм, дальностью стрельбы 3 — 12 км, кучностью порядка

$$\frac{Вд}{X} = \frac{1}{50} - \frac{1}{100}$$

и

$$\frac{Вб}{X} = \frac{1}{25} - \frac{1}{100}.$$

Естественно, что после войны продолжается интенсивное развитие реактивной артиллерии, и сейчас можно ожидать дальнейшего увеличения дальности и кучности пороховых реактивных снарядов примерно в 1,5—2 раза.

Рассмотрим различные образцы реактивных снарядов полевой наземной артиллерии, применявшихся во второй мировой войне.

§ 8. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ

1. Краткий обзор отечественных реактивных снарядов

Первые опытные образцы реактивных снарядов РС-82 и РС-132 появились в СССР в 1930 году и предназначались для вооружения самолетов. В декабре 1937 года снаряды РС-82 были приняты на вооружение (для самолетов И-15 и И-16) и получили первое боевое крещение в 1939 году в боях за Халхин-Гол. Испытание РС-82 в бою показало, что этот снаряд является грозным боевым оружием. В июне 1938 года на вооружение был принят РС-132, который первое боевое крещение получил во время войны с Финляндией в 1939—1940 гг. Примерно к этому же времени были отработаны снаряды М-8 и М-13 для наземной артиллерии тех же калибров (82 и 132 мм). Появление этих калибров — явление случайное, так как вначале предполагалось создать 76-мм снаряд с 7-ю шашками и диаметром одной шашки 23,2 мм. Ввиду того, что технологический процесс изготовления применявшихся в то время пироксилино-тротиловых шашек не был отработан, были получены шашки диаметром 24 мм. Соответственно пришлось внести некоторые изменения в размеры каморы, в результате чего был получен 82-мм калибр. Используя те же 24-мм шашки в количестве 19 штук, получили калибр 132 мм.

Первые образцы снарядов М-8 и М-13 по сравнению с ныне существующими обладали меньшим могуществом (вес ВВ у М-8—0,360 г, у М-13—1,9 кг), меньшей дальностью (М-13—7 км) и худшей кучностью.

До войны снаряды М-8 и М-13 были модернизированы и получили те тактико-технические данные, которые имеют сейчас. К этому же периоду относится создание многоствольных пусковых установок БМ-8-48 и БМ-13-16, принятых на вооружение гвардейских минометных частей. Впервые модернизированный снаряд выстреливался с БМ-13-16 в боях под Ельней в августе 1941 года; результаты при этом были весьма эффективными.

Используя эти снаряды, Советская Армия вела успешные оборонительные бои против немецко-фашистской армии. Позднее, после перехода Советской Армии в наступление, потребовался мощный фугасный снаряд, хотя бы и с меньшей дальностью, для разрушения обороны немцев.

Чтобы уменьшить производственные трудности в освоении нового снаряда, было решено использовать пороховой двигатель снаряда М-13, присоединив к нему мощную боевую часть. Эта задача была решена в двух вариантах.

Первым вариантом мощного фугасного снаряда с использованием порохового двигателя М-13 был снаряд М-30. Боевая часть, выполненная в виде эллипсоида калибром 300 мм и весом ВВ 28,9 кг, присоединялась к каморе. Для увеличения жесткости стабилизатора было увеличено число лопастей с 4 до 8, которые укреплены кольцом. Изменена была также система зажигания.

Выстреливание снаряда производилось из укупорочных станков. Из-за значительного увеличения веса боевой части и плохой баллистической формы снаряда дальность его уменьшилась до 2,8 км. Кучность снаряда была также неудовлетворительной. Стрельба из укупорки близ передовой линии приводила к большим потерям в личном составе. Снаряд М-30, вследствие его значительной фугасной мощности, был принят на вооружение, но ввиду малой даль-

[1] См., например, «Боеприпасы гвардейских минометных частей», Изд. ГАУ КА, 1944 г.

ности стрельбы и неудобств при стрельбе из укупорки требовал конструктивных изменений.

Во втором варианте взамен толстостенной боевой части М-13 изготавливалась тонкостенная (из трубы) боевая часть с весом ВВ 18,4 кг, в том же калибре, что и реактивная камора, длиной в 1 250 мм.

По весу ВВ (≈ 20 кг) снаряд был назван М-20; он выстреливался из БМ-13-16. Увеличение веса снаряда привело к снижению дальности стрельбы до 5050 м. Снаряд М-20 оказался мало удовлетворительным по кучности (из-за меньшей дульной скорости, переноса центра тяжести вперед, увеличения геометрического эксцентриситета вследствие неточности изготовления трубы). Кроме того, фугасное действие этого снаряда было недостаточным из-за большой длины боевой части ≈ 9 калибрам. И, наконец, увеличение веса снаряда М-20 привело к тому, что направляющие БМ-13-16 получали большие нагрузки и быстро выходили из строя. Таким образом, снаряд М-20 не был отработан и на вооружение не принят, хотя и неоднократно применялся в боевых операциях.

Для увеличения дальности снаряда М-30 решено было увеличить реактивную камору, оставив ту же боевую часть. Новый реактивный снаряд, принятый на вооружение летом 1942 года и названный М-31, имел в полтора раза большую по сравнению с М-30 дальность и выстреливался из вновь сконструированной установки БМ-31-12.

Снаряд М-31 был основным снарядом мощного фугасного действия, широко применявшимся Советской Армией на направлении главного удара.

Однако кучность снарядов М-8, М-13 и в особенности М-31 была явно недостаточной. Проворачивание снарядов М-31 и М-13 значительно улучшило их кучность, и они получили индексы М-13-УК и М-31-УК (улучшенной кучности).

По заданию Главного командования Советской Армии, в 1943 году начали разрабатывать снаряд, обладающий мощностью снарядов М-13, но имеющий большую дальность. Образец такого снаряда с дальностью 12 км был назван М-13ДД. Снаряд М-13ДД имеет ту особенность, что его реактивная часть состоит из двух реактивных камор снаряда М-13, соединенных промежуточным соплом, что приводит к усилению порохового двигателя, увеличению скорости и дальности полета снаряда.

Такое решение конструкции снаряда М-13ДД было вызвано исключительно производственными трудностями освоения нового снаряда в условиях военного времени.

На рис. 21 показан общий вид реактивных снарядов полевой артиллерии, применявшихся в Советской Армии.

Основные тактико-технические данные отечественных реактивных снарядов наземной артиллерии показаны в табл. 5.

Таблица 5

Характеристика	Снаряды							
	М-8	М-13	М-13-УК	М-20	М-13ДД	М-30	М-31	М-31-УК
Калибр, мм	82	132	(132)	132	132	300	300	300
Размах лопастей стабилизатора, мм	200	300	(300)	300	300	300	300	300
Полная длина снаряда, мм	714	1415	(1415)	2090	2120	1450	1760	1760
Вес окончательно снаряженного снаряда, кг	8,0	42,5	42,5	58	62,5	76	92,4	94,8
Вес снаряженной боевой части, кг	2,7	21,3	21,3	37,1	21,3	52,4	52,4	52,4
Вес разрывного заряда, кг	0,64	4,9	4,9	18,4	4,9	28,9	28,9	28,9
Вес снаряженной реактивной части, кг	5,13	20,8	20,8	21,4	40,8	23,6	39,6	42
Вес порохового заряда, кг	1,18	7,1	7,1	7,1	15,0	7,1	11,25	11,25
Взрыватель	АМ-А или ГВМЗ	ГВМЗ-1	ГВМЗ-1	ГВМЗ	ГВМЗ-1	ГВМЗ	ГВМЗ	ГВМЗ
Время горения порохового заряда, сек	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9
Средняя реактивная сила, кг	450	2000	1900	2000	4300	2000	2500	2500
Дульная скорость, м/сек	50	85	80	75	100	40	35	35
Наибольшая скорость снаряда, м/сек	315	355	355	260	520	195	255	245
Наибольшая дальность стрельбы, м	5515	8470	7900	5050	12000	2800	4325	4000
Длина активного участка, м	80	125	120	95	200	70	115	115
Радиус сплошного поражения, м	3—4	8—10	8—10	—	8—10	—	—	—
Радиус действительного поражения, м	12—15	25—30	25—30	—	25—30	—	—	—
Глубина воронки	—	0,8—1	0,8—1	—	0,8—1	2—2,5	2—2,5	2—2,5
Диаметр воронки, м	—	2—2,5	2—2,5	—	2—2,5	7—8	7—8	7—8
B_0/X	1/50	1/65	1/105	1/80	1/100	1/35	1/45	1/80
B_6/X	1/35	1/45	1/85	1/40	1/85	1/20	1/20	1/50

Примечание. Подробные конструктивные данные по отечественным снарядам приведены в прилож. 1

2. Осколочный снаряд М-8 (баллистический индекс ТС-34)

На рис. 22 изображен схематический разрез снаряда М-8, предназначенного для уничтожения живой силы противника, расположенной открыто и за легкими полевыми укрытиями, и подавления и уничтожения огневых средств противника. Стрельба снарядами М-8 ведется из боевой машины БМ-8-48 (48 направляющих) группами по три снаряда, или залпом, при этом все 48 снарядов выпускаются в течение 8—10 сек.

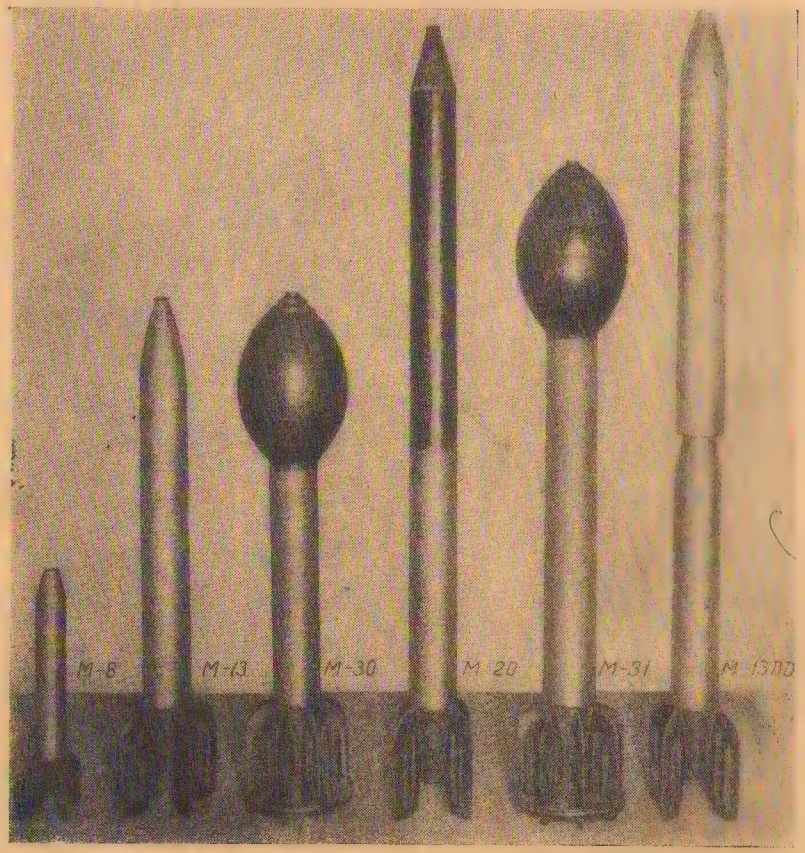


Рис. 21. Общий вид отечественных реактивных снарядов.

Боевая часть снаряда расположена в передней его части и состоит из корпуса боевой части (1) и разрывного заряда (2).

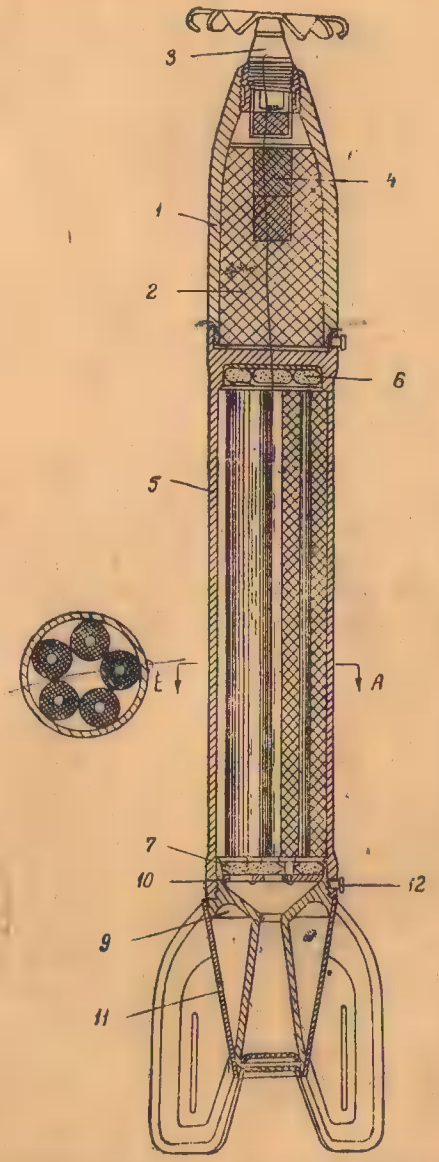


Рис. 22. Реактивный осколочный снаряд М-8.

В переднюю часть корпуса ввинчивается взрыватель (3) АМ-А или ГВМЗ-1, позади которого помещается дополнительный тетриловый детонатор (4).

Корпус боевой части имеет стенку толщиной 7—8 мм и сравнительно небольшую оживальную часть, так как скорость снаряда меньше скорости звука. Боевая часть снаряда соединяется с реактивной резьбой и стопорится направляющим штифтом.

До приведения снаряда в окончательно снаряженный вид (до постановки взрывателя) вместо взрывателя в головку снаряда ввертывается мастичная втулка, служащая для предохранения разрывного заряда и головного очка снаряда от влаги и загрязнения.

Реактивная камора (5) представляет собой штампованный стакан с глухим дном.

На обоих концах реактивной каморы имеются резьбы для соединения с боевой частью и с деталью крышка-сопло. По концам реактивной каморы находятся центрующие утолщения.

В реактивной каморе помещается заряд из пяти одноканальных цилиндрических шашек размером 26,5/6—290 мм. В верхней части шашки упираются в буртик каморы, снизу поджимаются диафрагмой. Для воспламенения порохового заряда служат два воспламенителя из дымно-ружейного пороха в миткалевых картузах: головной (6) и сопловой (7) весом по 11 г каждый. Сопловой воспламенитель имеет специальные отверстия в картузе и надевается на ножки дисковой диафрагмы.

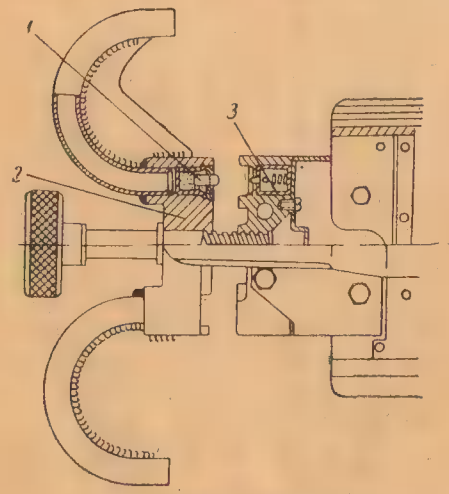


Рис. 23. Пропистолет.

Зажигание соплового воспламенителя происходит от луча пламени, образующегося при срабатывании пропатрона в пропистолете машины БМ-8-48. Луч огня от пропатрона проникает через сопло и диафрагму к воспламенителю.

На рис. 23 изображен разрез дугового пропистолета.

Пропистолет состоит из двух основных частей: поворотной (2) и контактной (3). Контактная часть пропистолета служит для подведения электрического тока от аккумуляторов к контактам пропатронов. Поворотную часть при заряжании пропистолета поворачивают, в нее вкладывают пропатрон и затем возвращают в вертикальное положение, закрепляя винтом.

Следует отметить, что струя выходящих из снаряда газов засоряет стволик пропистолета, поэтому возможны отказы при выстреливании.

Кроме описанного здесь дугового пропистолета, был принят на вооружение курковый, имеющий преимущества перед дуговым, в особенности для снарядов крупных калибров.

Реактивная камора закрывается крышкой-соплом (9), ввинчиваемым в нее. В верхней части крышки-сопла размещена дисковая диафрагма (10), состоящая из диска с отверстиями для прохода газов и ножек, на которые опираются пороховые шашки.

К крышке-соплу точечной сваркой прикреплен обтекатель (11), изготовленный из тонкой жести. К обтекателю приварены четыре лопасти, укрепленные под углом 90° друг к другу.

В центрующие утолщения ввинчиваются два Т-образных штифта (12), которые вводят в паз боевой машины при заряжании.

Для герметизации порохового заряда в крышку-сопло вставляют на сурике картонные тарели.

3. Осколочно-фугасный снаряд М-13
(баллистический индекс ТС-13)

Снаряд М-13, изображенный на рис. 24, предназначен для поражения открыто расположенной и окопавшейся живой силы противника, его огневых средств, автотранспорта и танков. Стрельба снарядами М-13 ведется из боевой машины БМ-13-16, причем все 16 снарядов могут быть выпущены за 7—10 сек.

Корпус боевой части (1) снаряда М-13 длиннее, чем у снаряда М-8, и имеет большую длину оживала. Толщина стенки корпуса 13—14 мм. В верхней части корпуса боевой части имеется очко с резьбой под взрыватель ГВМЗ (2). Разрывной заряд (3), обычно тротиловый, заливается через задний срез корпуса. В разрывном заряде помещается дополнительный детонатор (4). Боевая часть соединяется с реактивной каморой посредством промежуточной детали — дна (5). Реактивная камора (6), представляющая собой открытый цилиндр, изготавливается из трубы и имеет снаружи центрующие выступы, а внутри, спереди и сзади — резьбу для соединения с дном боевой части и крышкой-соплом и специальный утолщенный буртик (а) для ввертывания штифта (9) и пиросвечи. Наличие этого цилиндрического буртика создает много технологических неудобств, о которых будет сказано ниже.

В реактивной каморе помещается заряд (7) из нитроглицеринового пороха, состоящий из семи одноканальных цилиндрических шашек размером 40/8—550. Для воспламенения порохового заряда в головную часть реактивной каморы вложен воспламенитель (8) из дымно-ружейного пороха весом 50 г. Воспламенитель в миткалевом мешочке помещается в фанерную оболочку с отверстиями, на-

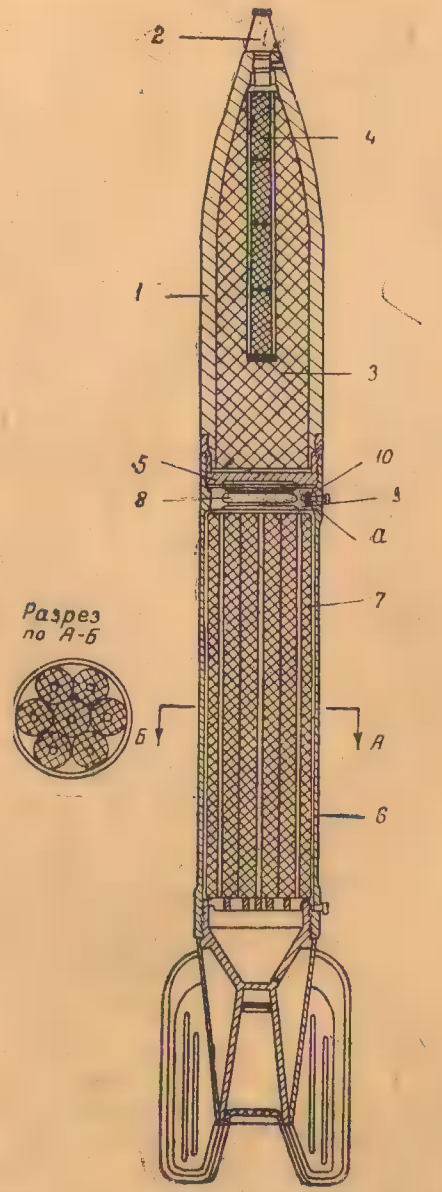


Рис. 24. Реактивный осколочно-фугасный снаряд М-13.

зываемую диафрагмой воспламенителя. Зажжение воспламенителя происходит от луча пламени, образующегося при срабатывании пиропатрона, вставленного в пиросвечу (10), ввинченную в корпус реактивной каморы. Для надежности воспламенения в снарядах М-13 ставят по две пиросвечи.

Пиросвеча (рис. 25) состоит из корпуса (2), заглушки (4), контакта (3) и изолятора (5). В пиросвечу вкладывается пиропатрон (1), закрепляемый сверху заглушкой на резьбе. Электрический ток подводится к пиропатрону через контакт (3) в заглушке и через корпус снаряда.

Изображенный на рис. 26 пиропатрон (ПП-5) состоит из латунной или медной гильзы (1), в верхней утолщенной части которой имеется изолятор (2) из пластмассы с запрессованным в нем медным контактным стержнем (3). Внутри гильзы пиропатрона имеется

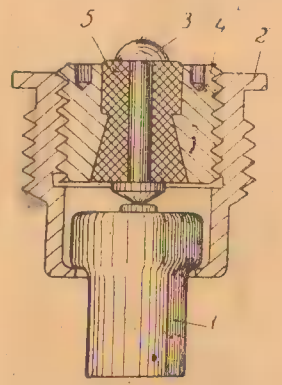


Рис. 25. Пиросвеча М-13.

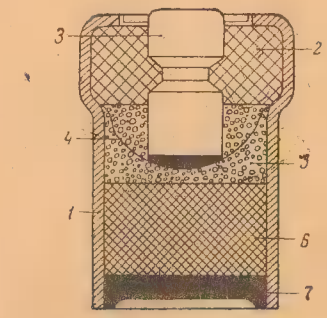


Рис. 26. Пиропатрон ПП-5.

мостик накаливания — константановая или нихромовая проволочка (4), которая своей серединой припаяна к контактному стержню, а концами — к стенкам гильзы. Мостик накаливания окружен подсыпкой (5) из дымного ружейного пороха, около которой помещается спрессованная из такого же пороха петарда (6), покрытая снаружи лаком-мастикой (7) для предохранения от выкрашивания и влаги.

Мостик накаливания пиропатрона имеет сопротивление 0,3—0,45 ом. Для срабатывания пиропатрона требуется ток силой 2,5—3 а.

Устройство, конструктивная форма стабилизатора, обтекателя, направляющих штифтов у снаряда М-13 принципиально ничем не отличаются от тех же деталей снаряда М-8, за исключением размеров.

В крышке-сопле крепится диафрагма колосникового типа, состоящая из отдельных колосников.

Для предохранения порохового заряда и воспламенителей от действия влаги отверстие сопла закрывается картонными тарелями, поставленными на суриковой замазке.

4. Взрыватель ГВМЗ

Ввиду того, что этот взрыватель получил очень широкое применение в отечественных реактивных снарядах, приведем его краткое описание.

Взрыватель ГВМЗ (рис. 27) состоит из стального корпуса (6), в котором помещаются пневматический ударный и замедлительный механизмы и детонаторное устройство.

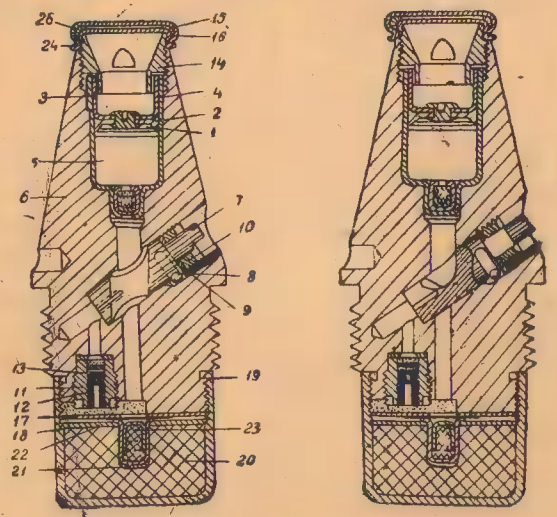


Рис. 27. Взрыватель ГВМЗ.

Ударный механизм состоит из гильзы (5), в которую сверху вставлен вместе с направляющим кольцом (4) поршень, состоящий из алюминиевой папиросы (3) и кожаного обтюратора (2), соединенных заклепкой (1). В углублении гильзы помещается капсюль-воспламенитель. У верхнего конца папиросы имеется буртик, опирающийся на срез кольца, которое предохраняет поршень от сближения с капсюлем-воспламенителем при выстреле и во время полета снаряда.

Собранный ударный механизм удерживается в своем гнезде в корпусе взрывателя при помощи ввинтной головки (14). Для предохранения ударного механизма от загрязнения на головку надевается мембрана (15) с кольцом (16) для ее крепления.

Для безопасности при обращении со взрывателем и для предохранения мембраны от повреждения на головку взрывателя надевается предохранительный колпачок (26), удерживаемый пружиной (24). К пружине пришита тесьма с надписью: «Перед стрельбой колпачок срывать».

Замедлительный механизм состоит из крана (7), на котором имеется канавка (8) для шарика. Шарик служит для ограничения поворота крана соответственно установкам на О (осколочное действие) и З (фугасное действие). С заводов взрыватели выпускаются с установкой крана взрывателя на О; при этой установке луч огня от капсюля-воспламенителя передается по центральному каналу корпуса непосредственно к капсюлю-детонатору (23).

При установке крана взрывателя на З кран поворачивается установочным ключом вправо доотказа; при этом стрелка на наружном торце крана должна совпасть с буквой З на корпусе.

В этом случае центральное отверстие в корпусе перекрывается, и луч огня от капсюля-воспламенителя зажигает пороховой замедлитель (13), последний же зажигает пороховой усилитель, и лишь после их сгорания пламя передается капсюлю-детонатору.

Гайка (10) служит для удержания крана в корпусе взрывателя; медная шайба (9) предназначена для предохранения внутренней части взрывателя от попадания влаги и пыли через кран.

Детонаторное устройство, собранное в стакане детонатора (19), состоит из: детонатора (20), капсюля-детонатора (23), шайбы (17) с шелковым кружком (18) и прокладкой из бумажных кружков (22). Под капсюлем-детонатором помещен суконный кружок (21) для обеспечения плотной посадки капсюля.

Капсюль-детонатор своим буртиком лежит на бумажном кружке (22), помещенном на торце детонатора; сверху капсюль-детонатор накрывается металлической шайбой (17), которая имеет центральное отверстие, закрытое шелковым кружком, предохраняющим капсюль-детонатор от попадания на него зерен пороха. Эти зерна могут попасть от пороховой запорошки усилителя (12) при тряске взрывателя во время перевозки или в момент выстрела.

Действие взрывателя ГВМЗ

При выстреле и на полете снаряда никаких перемещений деталей внутри взрывателя не происходит, так как сопротивление буртика папиросы больше возникающих при выстреле инерционных усилий.

При встрече снаряда с преградой мембрана (15) прорывается, буртик папиросы (3) разгибается и поршень ударного механизма вдавливается в гильзу (5), в результате чего происходит резкое сжатие заключенного в гильзе воздуха и повышение его температуры до величины, достаточной для воспламенения капсюля-воспламенителя. При этом луч огня капсюля-воспламенителя передается

капсюлю-детонатору через открытый канал крана взрывателя (если кран установлен на О) или через замедлитель (если кран установлен на З).

Взрыватель ГВМЗ при установке на мгновенное действие вызывает разрыв снаряда при его падении на поверхность земли, не давая ему углубиться в грунт, благодаря чему обеспечивается надлежащее осколочное действие.

При установке взрывателя ГВМЗ на замедленное действие снаряд сначала проникает в грунт (или другую преграду) и только потом разрывается, образуя воронку в грунте, благодаря чему обеспечивается надлежащее фугасное действие против окопов, траншей и врытых в землю укреплений противника.

Независимо от установки взрывателя, непосредственно перед стрельбой колпачки с взрывателей ГВМЗ необходимо срывать, так как взрыватель с неснятым колпачком при ударе о преграду, как правило, не срабатывает.

В случае, если почему-либо стрельба не состоялась, на взрыватели снова надеваются колпачки. Снаряд со взрывателем без колпачка опасен в обращении.

Взрыватели ГВМЗ могут быть двух типов: для мин (применяется в снарядах М-13) и гаубичный (применяется в снарядах М-31).

Эти взрыватели при установке на З имеют различные замедления: для мин — 0,26—0,35 сек; гаубичный — 0,35—0,65 сек.

Взрыватель ГВМЗ имеет следующие достоинства: простота устройства и изготовления и наличие во взрывателе двух важнейших установок — на мгновенное и замедленное действие.

Недостатками взрывателя ГВМЗ являются: опасность в обращении при снятом предохранительном колпачке, отказы в действии при стрельбе по твердому (каменистому) грунту, при стрельбе на рикошетах и при стрельбе на малых зарядах по плотному сухому грунту вследствие недостаточно быстрого сжатия воздуха под ударником или значительного недосыла ударника до капсюля.

Вес взрывателя ГВМЗ — 430 г.

5. Снаряды М-20 и М-30

Реактивные снаряды М-20 и М-30 были, как уже указано выше, модификацией снарядов М-13. Снаряд М-20, изображенный на рис. 21, отличается от снаряда М-13 только конструкцией боевой части. Боевая часть снаряда М-20 представляла цилиндрическую трубу диаметром 130 мм, длиной 1 250 мм с толщиной стенки 4,5—5 мм.

На конце трубы приваривался штампованный баллистический колпак для придания снаряду обтекаемости. Снаряжение (амматол 40/60 весом 18,4 кг) производилось через открытый задний срез.

Реактивный снаряд М-30, изображенный на рис. 21, имеет эллипсоидальную головку, снаряженную тротилом или амматолом 40/60.

Изменение конструкции боевой части вызвало необходимость изменения конструкции оперения и зажигания.

Оперение снаряда М-30, состоящее из восьми лопастей, скрепленных кольцом совместно с корпусом боевой части, является одновременно центрующей поверхностью, по которой ведется снаряд. Для зажигания вместо пиросвечи применяли электрозапал с проводами, описание которого дано ниже. Снаряд М-30 выстреливался из укупорочных ящиков.

Снаряды М-20 и М-30 с вооружения сняты.

6. Снаряд М-13-УК

(баллистический индекс ТС-53)

Снаряд М-13-УК отличается от снаряда М-13 наличием двенадцати тангенциально расположенных отверстий диаметром 2,9 мм в переднем центрующем утолщении снаряда в районе центра тяжести. Если бы эти отверстия были расположены в другом месте, например у сопла, то это могло бы привести к увеличению рассеивания снаряда. Пороховые газы, вытекая через тангенциальные отверстия, приводят снаряд во вращение. Благодаря вращению снаряда значительно, почти в 2 раза, уменьшается рассеивание как по дальности, так и в боковом направлении, но при этом несколько уменьшается дальность.

Из возможных методов улучшения кучности путем проворачивания снаряда метод вращения снаряда газами, выходящими через тангенциальные отверстия, является наиболее эффективным, хотя также имеет ряд недостатков, а именно: технологические трудности изготовления тангенциальных отверстий, трудность герметизации порохового заряда и другие.

Благодаря тому, что часть газов вытекает через тангенциальные отверстия, диаметр критического сечения сопла у снаряда М-13-УК уменьшен до 36 мм против $d_к = 37{,}5$ мм у снаряда М-13.

7. Снаряд М-13ДД (опытный)

Двухкаморный снаряд М-13ДД изображен на рис. 21. Две каморы, взятые от снаряда М-13, соединены между собой промежуточным соплом, описание которого будет дано ниже (рис. 188). В промежуточном сопле имеются 8 косонаклоненных отверстий. Пороховой заряд весит 15 кг, из них 14,4 кг — это два пороховых заряда снаряда М-13 и, кроме того, в промежуточном сопле размещаются 7 коротких пороховых шашек общим весом 600 г. Зажигание порохового заряда производится от пиросвечи, причем сначала зажигается задняя камора, от которой луч огня передается в переднюю реактивную камору. Направляющие штифты ввертываются в заднюю реактивную камору. Снаряд М-13ДД вначале выстрели-

вался из БМ-13-16, но ввиду того, что на снаряд действует тангенциальная сила, проворачивающая его, направляющие БМ-13-16 быстро выходили из строя. Впоследствии было решено выстреливать снаряд М-13ДД из спиральной направляющей, построенной в виде сотовой конструкции и поэтому имеющей большую жесткость.

Однако это также представляет ряд неудобств, так как снаряд М-13ДД имеет большое количество резьбовых соединений, что вызывает несоосность отдельных элементов снаряда, благодаря чему снаряд трудно вставить в направляющую.

Боевое действие снаряда М-13ДД у цели точно такое же, как у снаряда М-13.

Теоретически легко показать, что дальность в 12 км при калибре 132 мм нетрудно получить, применяя однокаморную схему и одношашечный пороховой заряд. Конструкция снаряда при этом получится значительно проще, а вес снаряда меньше.

8. 300-мм фугасный снаряд М-31

(баллистический индекс ТС-31)

Снаряды М-31 (рис. 28) предназначены для разрушения укрепленных пунктов и узлов сопротивления противника, инженерных сооружений и препятствий, для огневых налетов по крупным сосредоточениям пехоты и техники противника.

Стрельба ведется из боевой машины БМ-31-12, причем время для производства полного залпа составляет 7—10 сек.

Боевая часть состоит из корпуса эллипсоидной формы, состоящего из двух половин, с толщиной стенок 6—7 мм, и разрывного заряда (тротил или амматол 40/60).

Две половины корпуса боевой части изготовляются штамповкой листовой стали. К нижней части корпуса приваривается дно с резьбой для соединения с реактивной каморой, а к верхней — промежуточная втулка. Затем обе половины корпуса боевой части свариваются и через верхнее отверстие производится снаряжение разрывным зарядом. После снаряжения в это отверстие ввинчивается втулка (1) с очком под взрыватель ГВМЗ, за которым размещен дополнительный детонатор (10).

Реактивная часть состоит из блока реактивной каморы с соплом (11) и стабилизатора (12). В реактивной каморе помещается заряд из нитроглицеринового пороха, состоящий из пяти одноканальных цилиндрических шашек (3), которые отделены от сопловой части колосниковой диафрагмой (8).

Для воспламенения порохового заряда в реактивной каморе расположен воспламенитель (5) из дымного ружейного пороха весом 75 г. Воспламенитель вставлен в фанерную диафрагму той же конструкции, что и в снаряде М-13.

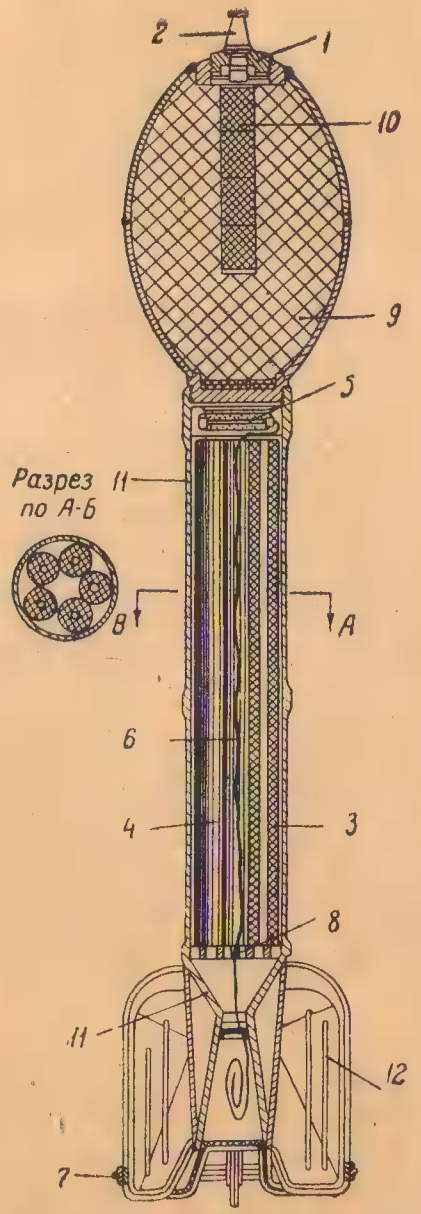


Рис. 28. Реактивный фугасный снаряд М-31.

Для придания снаряду М-31 устойчивости в полете служит стабилизатор, состоящий из обтекателя, восьми крыльев и направляющего кольца (7), служащего одновременно и для придания жесткости стабилизатору и, совместно с наружным диаметром боевой части, центрирующим элементом.

Зажигание воспламенителя происходит от платинового электрозапала, вшитого в картуз воспламенителя.

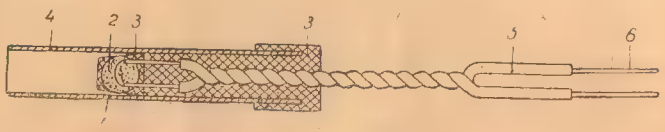


Рис. 29. Электрозапал к снаряду М-31.

Платиновый электрозапал (рис. 29) состоит из тонкой проволочки (мостик накаливания 1), припаянной к концам двух проводников (6). Мостик накаливания окружен затвердевшей капелькой специального воспламенительного состава (2), покрытого мастикой (3). Электрозапал заключен в металлическую или картонную гильзу (4).

Нить накаливания изготовляется из платины, так как она не реагирует с порохом. Если же для изготовления мостика накаливания применять константановую проволоку, то во избежание ее «разъедания» нить необходимо покрыть специальным составом.

Мостик накаливания электрозапала имеет сопротивление 1,0—1,4 ом. Для срабатывания электрозапала требуется ток силой 3—4а.

Провода (6) от электрозапала проходят по всей длине реактивной каморы; концы их помещаются в выходном конусе сопла между двумя картонными тарелями. При стрельбе вынимается одна тарель и концы проводников подключаются к контактам боевой машины.

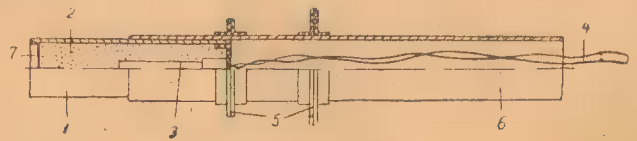


Рис. 30. У. Э. В-20.

Из-за действия газовой струи проводник рядом находящегося снаряда может оборваться и тогда выстрела не произойдет. В случае отказа при выстреливании снарядов М-31, М-13 и М-30 зажжение порохового заряда может быть произведено универсальным электровоспламенителем (УЭВ-20) без разборки снаряда.

Электровоспламенитель УЭВ-20 (рис. 30) имеет следующее устройство. В картонную гильзу (1) с зарядом (2) дымного ружейного

пороха весом 20 г помещен электрозапал (3), концы проводов (4) от которого выведены наружу. На картонной гильзе имеются два картонных кольца (5), обеспечивающих плотную посадку электровоспламенителя в выходном конусе сопла и устраняющих возможность его выпадания.

9. Снаряд М-31-УК

Ввиду того, что кучность снаряда М-31 недостаточна, был создан проворачивающийся оперенный снаряд М-31-УК. Снаряд М-31-УК отличается от снаряда М-31 тем, что на реактивной каморе, около центра тяжести снаряда, ввернуто 4 штуцера с г-образными отверстиями для приведения снаряда во вращение (рис. 31).

Установка штуцеров (по сравнению с тангенциальными отверстиями снаряда М-13-УК) позволяет увеличить проворачивающий момент. В реактивнвй каморе давление сохраняется то же, что и в снаряде М-31, а поэтому в снаряде М-31-УК несколько уменьшен диаметр критического сечения сопла.

Рис. 31. Реактивный фугасный снаряд М-31УК.

10. О недостатках отечественных РС

Опыт Отечественной войны показал большое преимущество отечественной реактивной артиллерии над реактивной артиллерией Германии.

В дальнейшем, при разборе образцов реактивного вооружения иностранных армий, будет ясно, что отечественные реактивные снаряды в комплексе с боевыми машинами обладают наилучшими тактико-техническими данными по дальности стрельбы, мощности огневого залпа, маневренности и т. д. в сравнении с теми же тактико-техническими показателями реактивных снарядов иностранных армий.

Однако отечественные реактивные снаряды, созданные непосредственно в предвоенные годы или в годы войны, когда по ряду причин было мало времени и возможностей для тщательной отработки того или иного образца, имеют ряд существенных недостатков. Изучение этих недостатков и их последующее устранение должно еще выше поднять военную технику частей реактивной артиллерии.

Главнейшими недостатками отечественных реактивных снарядов являются следующие.

1. Пороховой заряд почти всех реактивных снарядов недостаточно отработан и содержит резервы для дальнейшего повышения скорости снарядов и дальности стрельбы. Не говоря уже о возможности применения одношашечных зарядов, дающих большие плотности заряжания, существующие многошашечные заряды выбраны не наилучшие. Так, например, пороховой заряд снаряда М-8, имеющий пять шашек, может быть заменен семишашечным зарядом (при тех же размерах реактивной каморы), что даст приращение скорости примерно на 10%. Также может быть увеличен вес заряда снаряда М-31.

2. Зажигание всех типов снарядов недостаточно надежное, и случаи несхода снарядов с направляющих встречались довольно часто. Это приводило иногда к тому, что воспламенение снарядов производилось непосредственно от факела, что является совершенно недопустимым с точки зрения безопасности.

Причинами отказа зажигания являются:

а) В снарядах М-8 засорение пиропистолета струей выходящих газов.

б) В снарядах М-13 константановая проволока мостика накаливания в пиропатроне разъедается вследствие химического воздействия пороха, и поэтому, несмотря на наличие двух пиросвеч, на снаряде М-13 бывали отказы в зажигании. Этот недостаток невозможно исправить непосредственно на огневой позиции, а приходится отправлять снаряд в тыл для замены пиросвечи.

в) В снарядах М-31 часты случаи обрыва проводников, идущих от электрозапала, либо вследствие поспешной работы заряжающих, либо от действия газовой струи движущихся соседних снарядов.

Кроме того, существующие методы воспламенения у снарядов М-8 и М-31 при заряжании требуют дополнительного времени — у М-8 для закладывания пиропатрона в пиропистолет, а у М-31 для присоединения проводников к контактам боевой машины, что в боевых условиях не является достаточно удобным. В этом смысле наилучшей является система зажигания М-13, но и здесь возможны неисправности — загрязнение и обледенение контактов и др.

3. Кучность оперенных реактивных снарядов явно недостаточная. Лишь кучность снарядов УК равняется кучности турбореактивных снарядов. Придание проворачиваемости снарядам М-13 и М-31 путем выпуска части газов является хотя и эффективным методом, но все же связанным со следующими недостатками.

В снаряде М-13-УК:

а) Технологическая трудность производства тангенциальных отверстий малого диаметра. Сверло при выходе из отверстия (рис. 32) отжимается и часто ломается.

До сих пор удовлетворительного решения этой задачи не найдено. Так как сверление тангенциальных отверстий в реактивной каморе является одной из заключительных операций, то поломка сверла, которое застревает в каморе и вытащить которое невозможно, приводит к браку всей реактивной каморы — самой дорогостоящей детали реактивного снаряда.

б) При истечении раскаленных газов через тангенциальные отверстия происходит размывание острых углов этого отверстия (фиг. 32), вследствие чего отверстия получают увеличенный размер, причем разный у различных отверстий. Это может сказываться на кучности реактивных снарядов.

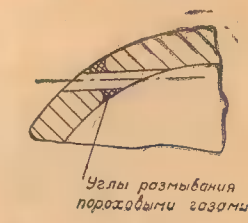


Рис. 32. Тангенциальные отверстия снаряда М-13УК.

в) Наличие тангенциальных отверстий создает дополнительные трудности при герметизации порохового заряда. Обычно эти отверстия заклеиваются миткалевой лентой по внутреннему и наружному диаметрам каморы, наружная лента срывается при заряжании снарядов на огневой позиции. Если по каким-либо причинам стрельба не состоялась, создается дополнительная трудность в герметизации порохового заряда.

В снаряде М-31-УК:

а) Штуцера, через которые происходит выпуск газов для вращения снарядов поставлены на резьбе. В процессе эксплоатации они могут отвернуться, и момент реактивной силы будет поворачивать снаряд не вокруг его продольной оси, что может даже ухудшить кучность снаряда.

б) Трудность герметизации снарядов, благодаря добавочным отверстиям в штуцерах.

4. Размеры и форма лопастей стабилизатора являются недостаточно отработанными. Этот факт подтверждается и тем обстоятельством, что размеры, формы и число лопастей у различных снарядов, отечественных и иностранных, чрезвычайно разнообразны. Причиной этому являются наши слабые познания в научном обосновании формы лопастей стабилизатора.

Из некоторых, правда немногочисленных, опытов следует, что размеры лопастей стабилизатора могут быть уменьшены по диаметру до 150 мм вместо 200 мм у М-8 и до 250 мм вместо 300 мм у М-13 без существенного ухудшения кучности.

В отечественных реактивных снарядах форма и размеры оперения выбраны без какого-либо серьезного теоретического обоснования, и снаряды, имеющие различные скорости, различные аэродинамические характеристики, имеют одно и то же оперение, что может быть объяснено определенными производственными затруднениями в условиях военного времени.

Сокращение габаритов оперения, если бы это было возможно, сделало бы снаряды более удобными в служебном обращении, уменьшило бы габариты укупорки.

Кроме того, оперение отечественных реактивных снарядов выходит за срез сопла, поэтому могут погнуться лопасти стабилизатора. Необходимо помнить, что снаряды с погнутыми лопастями стабилизатора для стрельбы непригодны.

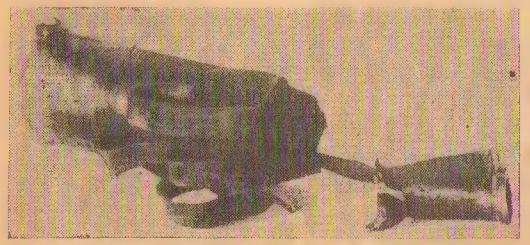


Рис. 33. Реактивная камора М-13 после разрыва снаряда.

5. Недостаточное осколочное действие снарядов, связанное с тем, что реактивная камора обычно не дает осколков. Это видно из рис. 33, где показана реактивная камора после падения снаряда и разрыва боевой части. Однако специальные опыты показали, что установкой добавочного заряда, пропущенного внутрь реактивной каморы, можно добиться вполне удовлетворительного разрыва реактивной каморы на полезные осколки.

6. Баллистическая и конструктивная форма снаряда М-31 является явно неудовлетворительной.

Элементарные конструктивные расчеты показывают, что вместо снаряда М-31 возможно сделать турбореактивный снаряд, обладающий тем же могуществом, повышенной дальнобойностью, значительно лучшей кучностью, габариты которого (диаметр и длина) будут примерно на 30—40% меньше габаритов снаряда М-31. Примером служит 30-см снаряд фугасного действия бывшей немецкой армии, который при том же калибре 300 мм и длине, уменьшенной на 35%, имеет почти вдвое большее количество ВВ. Более подробные исследования показывают, что применение снарядов с баллистической формой типа М-31 для более высоких скоростей следует совершенно исключить.

Кроме того, подсчет величины эксцентриситета реактивной силы по величине фактического рассеивания снарядов М-31 показывает, что этот эксцентриситет будет порядка 2,5 мм — величины значительно большей, чем у других РС. Объясняется это, повидимому, тем, что при изготовлении реактивной каморы и крышки-сопла в одном блоке трудно достичь соосности выходного конуса сопла и внутренней поверхности реактивной каморы.

7. Недостаточная технологичность отдельных деталей реактивных снарядов. Например, реактивная камора снаряда М-13 имеет утолщенный буртик для ввертывания пиросвечи и направляющих штифтов. Благодаря этому камору приходится делать из трубы с

толщиной стенки 12 мм, в то время как толщина стенки готовой каморы равна 3,5—4 мм. Таким образом, при изготовлении реактивной каморы почти $^2/_3$ металла уходит в стружку, причем, создается чрезвычайно трудоемкая операция внутренней расточки.

В том же снаряде М-13 деталь — переходное дно недостаточно обосновано. Изготовление корпуса боевой части заодно с дном упростило бы и удешевило изготовление корпуса, уменьшило бы количество резьбовых соединений, уменьшило бы эксцентриситет (геометрический) снаряда. Следует заметить, что изготовление деталей снаряда (реактивной каморы, боевой части и др.) с глухим дном является технологически оправданным в том случае, если внутренний диаметр такой детали не обрабатывается, что и имеет место в корпусе боевой части.

8. Величина $\xi = \frac{d_a}{d_к}$ в некоторых снарядах (например, у М-31) выбрана не оптимальной; поэтому невозможно получить наивыгоднейший единичный импульс.

§ 9. РС БЫВШЕЙ НЕМЕЦКОЙ АРМИИ

1. Краткий обзор реактивных снарядов бывшей немецкой армии

Как известно, начиная с 1933 года, после прихода к власти фашистов, в Германии начался быстрый рост вооружений. Было затрачено много усилий для разработки реактивного оружия. Всего было разработано и испытано более 100 образцов реактивного вооружения. Однако ошибочность немецкой военной доктрины и стремление выиграть войну сверхмощным «секретным» оружием (например, реактивными снарядами V—1 и V—2) привели к недооценке полевой наземной артиллерии. Благодаря этому полевая реактивная артиллерия бывшей немецкой армии была значительно слабее полевой реактивной артиллерии Советской Армии.

Первые образцы пороховых реактивных снарядов, разработанных в Германии, относятся к 1934—1935 гг.

В 1936 году был принят на вооружение 158,5-мм реактивный химический снаряд, предназначавшийся для стрельбы из шестиствольного миномета.

Пороховой заряд этого 158,5-мм снаряда, состоящий из одной шашки прессованного дымного пороха, хотя и давал максимальную плотность заряжания, но вследствие низкого механического качества часто растрескивался, что приводило к разрыву каморы на направляющих. Впоследствии пороховой заряд и боевая часть были изменены. Модификацией этого снаряда явился осколочно-фугасный 158,5-мм снаряд, мощность которого была явно недостаточной, а поэтому немцы решили, оставив с небольшими изменениями реак-

тивный пороховой двигатель, изготовить новую боевую часть. Так были созданы 280-мм фугасный реактивный снаряд и 320-мм зажигательная мина.

280-мм фугасный снаряд предназначался для разрушения полевых инженерных сооружений, проволочных заграждений, уничтожения минных полей и отчасти для поражения живой силы. 320-мм реактивная зажигательная мина предназначалась главным образом для стрельбы при атаке крупных населенных пунктов. С этими тремя снарядами, общим у которых является пороховой реактивный двигатель, немецкая армия начала войну с Советским Союзом. Очень скоро немцы убедились в слабости своего реактивного вооружения. Небольшая мощность 158,5-мм осколочно-фугасного снаряда, тонкостенность боевой части 280-мм фугасного снаряда, что привело к недостаточной прочности его при разрушении инженерных сооружений, плохая баллистическая форма 280- и 320-мм снарядов, а также недостаточная мощность порохового двигателя, вследствие чего эти снаряды имели малую дальность (порядка 2-х км) и плохую кучность, заставили немцев в 1942 году официально снять с вооружения 280-мм и 320-мм реактивные снаряды. Были разработаны новые 210-мм осколочно-фугасный снаряд и 300-мм фугасный снаряд мощного действия. Реактивная часть этих снарядов была общей, за исключением некоторых мелких изменений, и благодаря увеличению ее размеров получилось значительное увеличение дальности.

210-мм снаряд имеет обтекаемую форму обычного артиллерийского снаряда и из всех образцов немецких реактивных снарядов имеет наибольшую дальность (7 850 м).

Все описанные снаряды были турбореактивными и имели несколько лучшую кучность, но значительно меньшую дальность, чем наши отечественные снаряды. Кроме того, разработанные немцами установки имели число стволов от 5 до 10, т. е. их возможности создания мощного шквального огня были значительно ниже возможности наших гвардейских минометов.

В марте 1942 года немцы захватили снаряды М-8 и М-13 и дали срочное задание чехословацкой фирме «Зброевка» создать подобные образцы. По типу М-8 были созданы снаряды калибра 80 мм с небольшими изменениями. Считая, что открытая машина типа БМ-8-48 опасна для обслуживающего персонала, так как не защищена от поражения осколками, немцы использовали вездеход полуброневого типа, сконцентрировав внутри машины все управление. В машине также помещался один комплект снарядов в количестве 48 штук.

Немцы также производили работы по созданию реактивного снаряда калибра 150 мм. по типу снаряда М-13.

Из других типов реактивных снарядов могут быть отмечены:

1. Реактивный 380-мм снаряд для штурмовой мортиры, предназначавшийся для штурмовых действий в населенных пунктах, разрушения баррикад, уличных боев и т. д.

Основные данные снаряда: калибр 380 мм; полный вес 200 кг; предельная дальность 5 км.

2. Реактивный снаряд для разрушения проволочных заграждений, состоящий из якоря, соединенного с каморой сгорания. К концу якоря присоединен стальной трос. Снаряд с танка забрасывается на проволочные заграждения и при буксировке разрушает их. Стабилизация снаряда обеспечивается наличием троса.

3. Снаряды специального назначения, принятые на вооружение:

а) агитационный снаряд калибра . . . . . 73 мм;
б) осветительный снаряд калибра . . . . . 86 мм;
в) дымовой снаряд калибра . . . . . 210 мм.

В табл. 6 приведены данные турбореактивных снарядов бывшей немецкой армии [1].

Таблица 6[1]

Характеристики	Снаряды				
	15-см	28-см	32-см	21-см	30-см
Калибр, мм	158,5	280	337	214,5	300
Общая длина снаряда, мм . .	940	1260	1300	1260	1250
Вес окончательно снаряженного снаряда, кг	34,2	82	79	111	127
Вес взрывчатого вещества, кг	2,06	45,4	50	9,2	48,5
Вес порохового заряда, кг . .	6,0	6,0	6,0	18,0	15,1
Максимальная скорость, м/сек	340	149	153	320	230
Дульная скорость, м/сек . . .	40	10	20	30	25
Наибольшее давление в камере, кг/см²	300	300	300	300	300
Время горения заряда, сек . .	0,7	0,7	0,7	1,8	1,8
Длина активного участка, м .	120	60	60	280	200
Число оборотов в минуту . .	13000	1800	1400	6500	—
Максимальная дальность, м . .	6900	1925	2200	7850	4500
Разлет осколков в боковом направлении, м	40	—	—	46	—
вперед, м . .	13	—	—	—	—
Вд/Х	1/55	1/40	1/45	1/85	1/100
Вб/Х	1/65	1/50	1/50	1/60	1/35

Конструктивные данные по турбореактивным снарядам наземной артиллерии бывшей германской армии приведены в приложении 2.

Рассмотрим отдельные образцы реактивных снарядов бывшей немецкой армии.

[1] Данные взяты из работы Пойда Н. Ф., Проектирование реактивных снарядов, изд. Артакадемии, 1946 г.

Как мы уже указывали, пороховой реактивный двигатель 158,5-мм, 280-мм и 320-мм снарядов является общим, поэтому разберем его конструкцию только при рассмотрении одного из снарядов.

2. 158,5-мм осколочно-фугасный снаряд

На рис. 34 представлен чертеж 158,5-мм осколочно-фугасного снаряда, а на рис. 35 более детально изображен реактивный двигатель этого снаряда, который применяется также для 280-мм фугасного и 320-мм зажигательного снарядов. Реактивная камора (1) представляет собою цилиндр, к верхней части которого болтом (2) и скобой (3) прикрепляется баллистический колпак (4). На нижнюю часть реактивной каморы навертывается турбинка.

Пороховой заряд этого снаряда выполняется в следующих модификациях:

1. Пороховой заряд из шашки моноблока, изготовленный из прессованного дымного пороха, плотностью 1,83. Исследование макроструктуры пороха показывает, что, повидимому, порох прессовался в горячем состоянии (по всей вероятности при температуре размягчения серы). Шашка пороха вкладывается в реактивную камору свободно и закрепляется в ней турбинкой и фетровыми ленточками, уложенными между шашкой и стенками каморы.

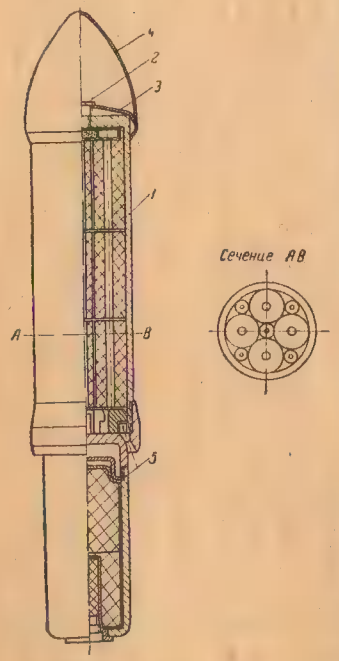


Рис. 34. 158,5-мм турбореактивный снаряд.

К торцам шашки приложены войлочные кружки. Реактивный двигатель при снаряжении его шашкой дымового пороха не имеет воспламенителей, применяемых в двигателях с зарядом из дигликолевого пороха.

2. Пороховой заряд из дигликолевого пороха, изготовленного в виде монолитного блока с девятью каналами и восемью углублениями по боковой поверхности, в которые размещены по всей длине заряда целлулоидные трубочки $d=7$ мм, служащие для предохранения порохового заряда от толчков и трения о боковую поверхность реактивной каморы.

3. Пороховой заряд, состоящий из семи шашек дигликолевого пороха размером 42,5/6—406.

Этот пороховой заряд имел наибольшее распространение.

4. Пороховой заряд, состоящий из больших и малых шашек дигликолевого пороха, размеры и укладка которых показаны на рис. 36. Под торцы шашек подкладываются фасонные прокладки.

Согласно правилам стрельба снарядами с дигликолевым порохом (марки Digl. P) допускалась при температурах от —25 до + 25°. Если стрельба производилась при иных температурных условиях, то рекомендовалось применять специальный порох марки Tropp. (при температуре —25 +40°) или порох — марки Arkt. (при температуре —40 +10°).

Воспламенение порохового заряда производится, как правило, нижним и верхним воспламенителями.

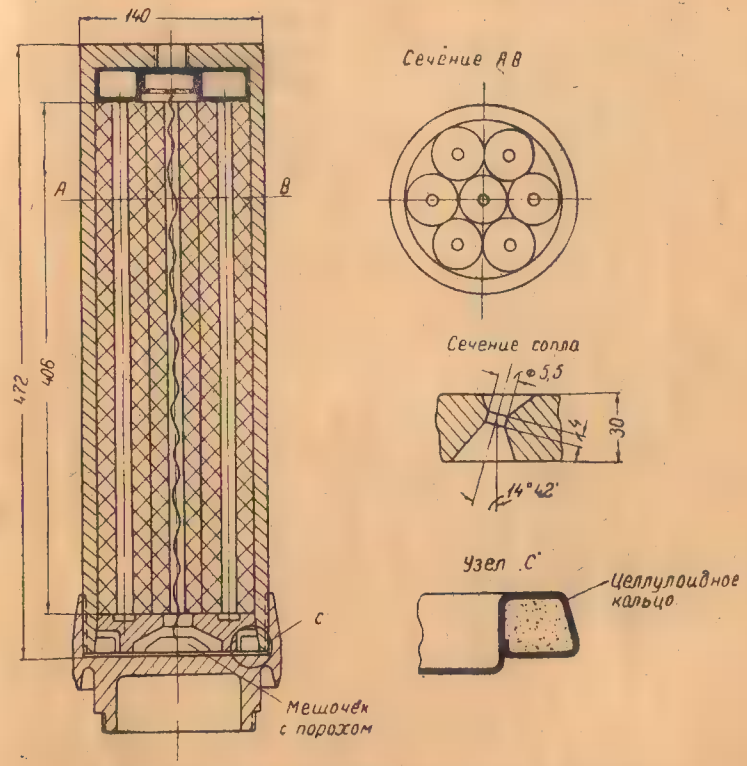


Рис. 35. Реактивный двигатель 158,5-мм снаряда.

Нижний воспламенитель состоит из пористого пироксилина или дымно-ружейного пороха и заключен в целлулоидное кольцо. Пламя от нижнего воспламенителя передается по стопиновой нити,

заключённой в целлулоидную трубку, на концах которой размещены пороховые петарды.

Верхний воспламенитель представляет собою шашку весом от 30 до 85 гр, в зависимости от формы порохового заряда, спрессованную из пиротехнического состава, состоящего из 56,45% $Ba(NO_3)_2$, 5% $Ba(ClO_3)_2$, 36,25% порошкообразного алюминия и 1,7% камфары. На поверхность этой шашки нанесена подмазка, состоящая из 63,6% $Ba(NO_3)_2$, 34,82% титана, 1,58% алюминия. На шашку уложена пластина из пористого пироксилина, снабженная по периферии отверстиями.

Верхний (основной) воспламенитель должен быстро создать в реактивной каморе давление порядка 30—40 атм и высокую температуру для равномерного горения пороха в начальный период работы двигателя.

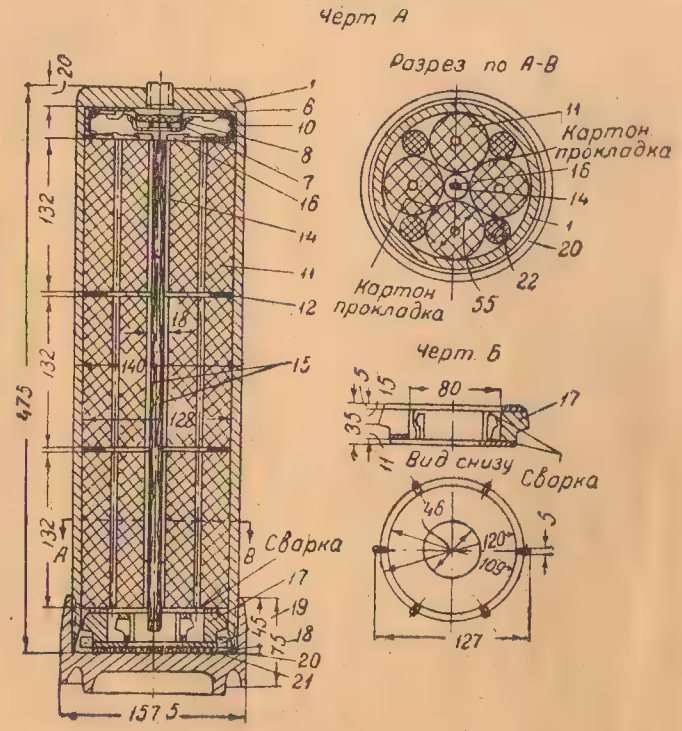


Рис. 36. Пороховой заряд 158,5-мм снаряда.

Для герметизации порохового заряда служит лист алюминиевой фольги, лежащей под диафрагмой и закрывающей сопла изнутри.

Электрозапал мины (рис. 37) может вставляться либо в одно из сопел турбинки, либо в гнездо, образованное в болте, которым привинчивается диафрагма к турбинке.

Устройство электрозапала следующее. Внутрь пластмассового корпуса (1) вставлен мостик накаливания (2) с воспламенителем. Мостик с воспламенителем предварительно вложен в картонный цилиндр (4) с изоляционной мастикой (3). В сосок корпуса запала запрессовано около 1 г черного пороха (5).

Снизу все детали запала закреплены в корпусе штампованным стальным донышком (6). Один из проводников мостика накаливания припаян к этому донышку, другой — к металлической оправе (7) корпуса запала.

Диафрагма порохового двигателя выполнена литой из жаропрочной стали.

Турбинка реактивного двигателя имеет 26 отверстий с диаметрами критического сечения $d_к = 5{,}5$ мм и выходного $d_а = 14$ мм. Следовательно, для данного реактивного двигателя $\xi = \frac{d_а}{d_к} = 2{,}54$.

В нижней части турбинка 158,5-мм снаряда несколько удлинена и снабжена резьбой для соединения с боевой частью. Наружный диаметр турбинки, наравне с наружным диаметром баллистического

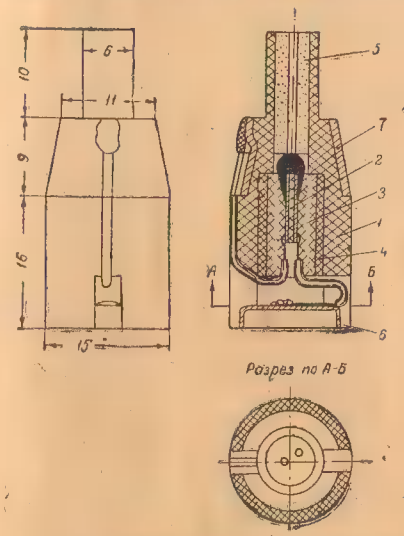


Рис. 37. Электрозапал к 158,5-мм снаряду.

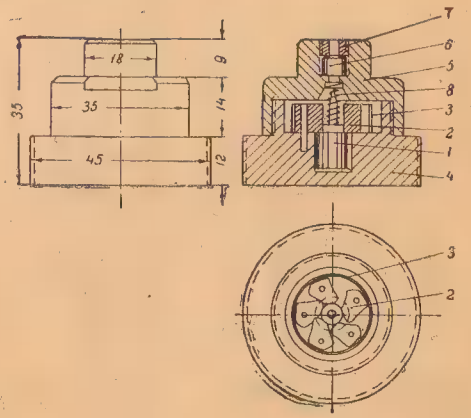


Рис. 38. Взрыватель Bd. Z. Dov.

колпачка является центрующей поверхностью при движении снаряда по трубе пускового устройства.

Особенностью боевой части 158,5-мм осколочно-фугасного снаряда является то, что она расположена сзади реактивного двигателя, что обеспечивает наилучшее осколочное действие.

Корпус боевой части (рис. 34) штампован из стали и обжат. Со стороны, обращенной к турбинке, он открыт, и через это отверстие, в него закладывается футляр с разрывным зарядом из двух шашек прессованного тротила. Вес заряда — 2 кг, его плотность 1,56. Футляр с разрывным зарядом закреплен в корпусе магнезиальным цементом. Сверху разрывной заряд прикрыт стальной фигурной диафрагмой (5), поджатой срезом стенок турбинки. За этой диафрагмой имеется воздушная прослойка, предохраняющая тротил от нагревания в процессе горения пороха. В донное очко корпуса ввернута втулка с запальным стаканом, внутрь которого вложен детонатор.

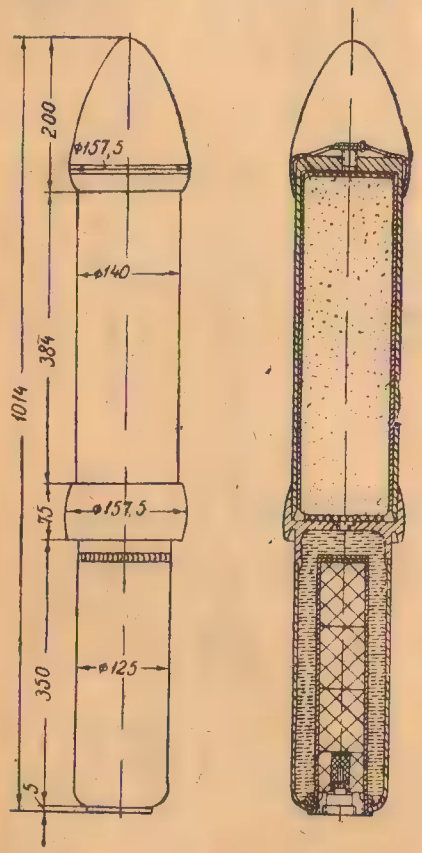


Рис. 39. 158,5 дымовой реактивный снаряд

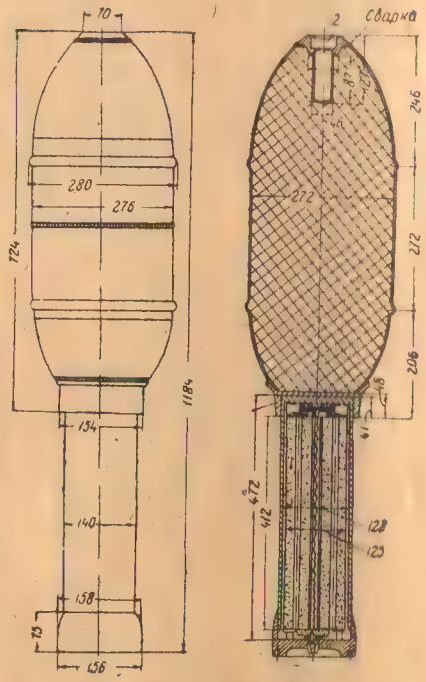


Рис. 40. 280-мм фугасный реактивный снаряд

Во втулку ввертывается донный взрыватель марки Bd. Z. Dov. (рис. 38). Он состоит из стального фосфатированного корпуса (4), центробежных плашек (2), охваченных кольцевой латунной пружиной (3) и укрепленных на осях, ударника (1) с жалом, втулки (5), навинченной на корпус взрывателя и капсюля-воспламенителя (6),

закрепленного во втулке (5) винтом (7). Взрыватель действует так же, как и аналогичные по устройству взрыватели для артиллерийских снарядов.

Химический и дымовой 158,5-мм снаряды (рис. 39) по устройству совершенно одинаковы. Дымовой снаряд имеет штампованный стальной корпус с залитым в него через отверстие в турбинке дымообразующим веществом (SO_3 на селикагеле).

Турбинка каморы свинчена с корпусом боевой части и затем для герметизации приварена к ней. В донное очко корпуса ввернута на мастике втулка с привареным к ней большим запальным стаканом. По стыку втулки с корпусом снаряда проложено для герметизации картонное кольцо.

В запальный стакан вкладывается разрывной заряд из 4-х шашек флегматизированного тэна или тротила, закрепленных донной алюминиевой втулкой с резьбой под взрыватель.

В гнездо разрывного заряда вкладывается стандартный детонатор.

Снаряд снабжается ранее описанным взрывателем Bd. Z. Dov, с тем лишь отличием, что он целиком изготовлен из алюминия.

Стрельба 158,5-мм снарядами производится либо из шестиствольного миномета, смонтированного на прицепе, либо из десятиствольного миномета, установленного на бронетранспортере.

3. 280-мм фугасный снаряд

280-мм фугасный снаряд (рис. 40) предназначен для разрушения полевых инженерных сооружений, проволочных заграждений, уничтожения минных полей и отчасти для поражения живой силы.

Описание порохового двигателя дано ранее.

Боевая часть изготовлена сварной из двух половин, штампованных из 2-мм листовой стали. К нижней половине приварена муфта, снабженная резьбой для присоединения реактивного двигателя. К верхней половине приварена головная втулка, в которую ввертывается запальный стальной стакан со стандартным детонатором и взрыватель.

В корпус залит амматол 60/40 в количестве 45,4 кг, плотность которго 1,53.

Взрыватель W. gr. Z. 50+ (рис. 41) непредохранительного типа двойного действия. Его корпус (1) имеет сквозное центральное отверстие, в котором собран ударно-предохранительный механизм и боковое отверстие для размещения центробежных предохранителей. Детали взрывателя удерживаются донной втулкой (2). Ударный механизм состоит из ударника мгновенного действия (5) с жалом (14) и контрпредохранительной пружиной (16) и ударника инерционного действия (6) с КВ7, закрепленным втулочкой (8). Последняя имеет конический выступ, заходящий в соответствующее

углубление инерционного кольца (9). Инерционное кольцо опирается на жесткий предохранитель (10) с пятью лапками.

Ударники (5) и (6) прочно удерживаются от взаимного сближения центробежными стопорами (11) до тех пор, пока снаряд не наберет надлежащего углового ускорения. Стопоры входят в отверстие ударника 5 и кольцевую выточку ударника 6 и в таком положении фиксируются пружинами (12), закрепленными пробками. До стрельбы ударники дополнительно закреплены предохранительной чекой (4). На корпус взрывателя надевается предохранительный колпачок (3), удерживаемый чекой (4).

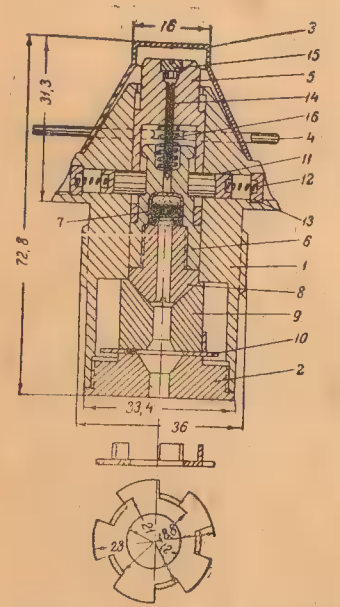


Рис. 41. Взрыватель W gr. Z. 50+

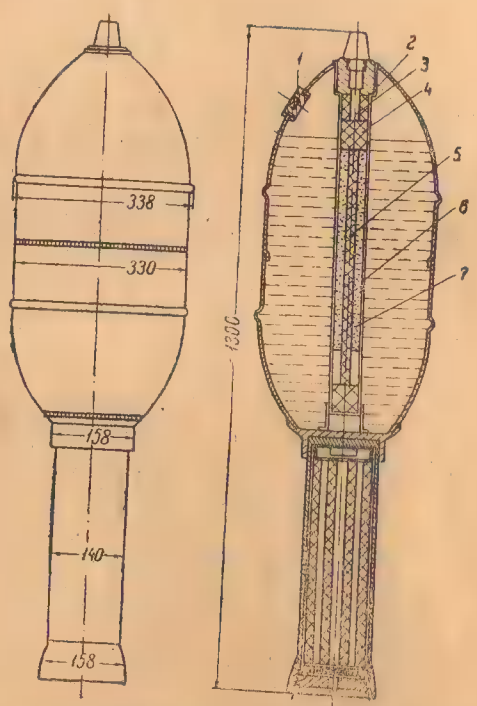


Рис. 42. 320-мм зажигательная мина.

Перед стрельбой удаляется чека и снимается колпачок. При выстреле ударник (5), оседая вниз, нажимает на центробежные стопоры, не давая им разойтись в стороны. Когда снаряд наберет надлежащую скорость, стопоры под действием центробежной силы сожмут пружинки и, отойдя в стороны, освободят ударники, которые будут удерживаться от набегания только контрпредохранительной пружиной. При ударе о преграду ударник (5) наколет КВ, луч огня которого вызовет детонацию КД и детонатора.

Если реактивный снаряд упадет боком и ударник (5) не подействует, то инерционное кольцо, преодолев сопротивление лапок жесткого предохранителя (10), переместится в сторону и продвинет ударник (6) вперед, отчего КВ наколется на жало (14) и взрыватель сработает, как и в первом случае. Выстреливание 280-мм снарядов производилось из укупорочных ящиков, монтируемых на броневом вездеходе.

4. 320-мм зажигательный реактивный снаряд

Корпус боевой части 320-мм зажигательного снаряда (рис. 42) состоит из двух половин и изготовлен так же, как и корпус боевой части 280-мм фугасного снаряда. В верхней половине имеется отверстие для заливки зажигательного вещества, закрываемого пробкой (1), а также вварена втулка с резьбой под запальный стакан (2) из пластмассы.

В запальный стакан вложен детонатор (3), а в верхнюю его часть ввинчен взрыватель W. gr. Z. 50+, описанный нами ранее.

К нижней половине приварена соединительная муфта, в которую ввинчивается корпус реактивной каморы. Внутри корпуса боевой части вставлена центральная трубка, содержащая разрывной заряд. Эта трубка приварена вверху ко втулке, а внизу — к кольцу, закрепленному на днище соединительной муфты.

Разрывной заряд из прессованного флегматизированного тэна состоит из шашек (4) и цилиндрика (5), составленного из малых шашек. Между большими шашками тэна помещается запал — жестяной цилиндр (6), в котором вставлены тэновые цилиндрики (5) и помещен запальный состав (7) — смесь порошкообразного магния и тонко измельченного активированного угля. Вес воспламенительного состава 0,32 кг. В корпус мины заливается 45—50 литров керосина или сырой нефти.

Пламя 320-мм зажигательного снаряда распространяется до трех метров по фронту и на 15—20 м в глубину.

5. 210-мм осколочно-фугасный снаряд

На рис. 43 изображен 210-мм осколочно-фугасный снаряд, а на рис. 44 — пороховой реактивный двигатель, используемый также в конструкции 300-мм фугасного снаряда с небольшими изменениями.

Реактивная камора представляет собою стакан со сплошным дном. Внутри реактивной каморы помещены семь шашек диглицолевого пороха, поджимаемые снизу диафрагмой (3) и турбинкой (4). Турбина имеет 22 сопла с углом наклона 16° и одно центральное прямое сопло.

Вверху пороховые шашки упираются в кольцевой выступ каморы, а центральная шашка — в разрезное опорное кольцо (5) с

основным воспламенителем (6). Передача огня от электрозапала осуществляется через целлулоидное кольцо (7) с черным порохом (80 г) и целлулоидную трубку (9) с тремя пороховыми петардами (10).

Целлулоидная трубка не имеет стопина. Она опирается целлулоидной пластинкой, приклеенной к нижнему концу, на суконное кольцо (12). Центральное сопло турбинки прикрыто изнутри двумя кружками алюминиевой фольги.

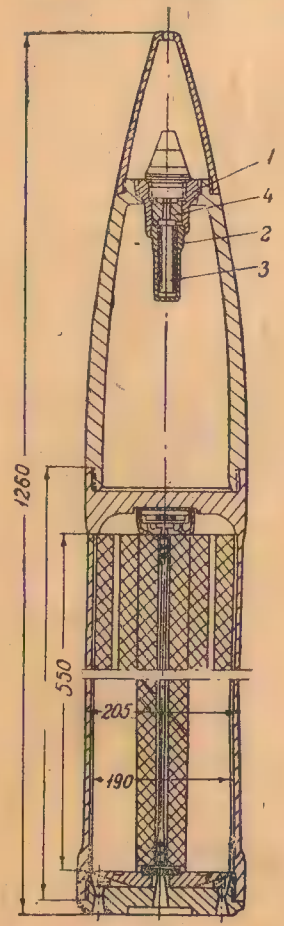


Рис. 43. 210-мм осколочно-фугасный снаряд.

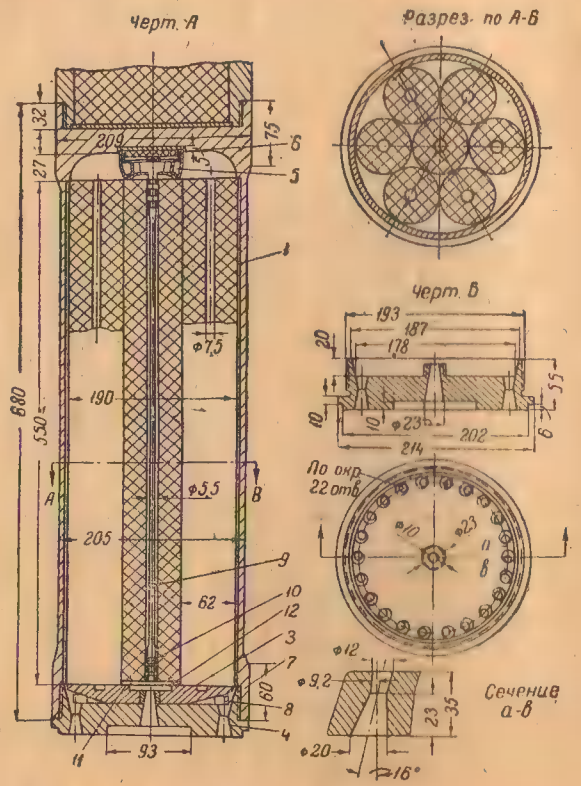


Рис. 44. Реактивный двигатель к 210-мм снаряду

В отличие от 158,5-мм снаряда, турбинка ввинчивается в реактивную камору, благодаря чему она имеет меньшие (соответственно калибру) размеры и вес. Благодаря упрощенной форме турбинки обработка сопла значительно облегчается.

Реактивная камора имеет центрующие утолщения, которыми снаряд ведется по направляющей.

По форме 210-мм осколочно-фугасный снаряд соответствует форме обычных артиллерийских снарядов и среди других реактивных снарядов имеет наименьший коэффициент формы.

Корпус боевой части (рис. 43) штампован из стали, имеет в верхней части навинтованное очко, в которое ввинчивается головная втулка (1) с резьбой под взрыватель марки Sl. lgr. Z. 23 п. А, и стальной запальный стакан (2) со стандартным детонатором.

Между основным детонатором и взрывателем ставится дополнительный детонатор (4) из флегматизированного тэна. Притупленная головная часть корпуса вместе с ввинченным взрывателем прикрывается баллистическим колпаком. Для передачи реакции преграды ударнику взрывателя в навинтованное отверстие в вершине колпака ввинчивается втулка со стержнем. Снизу к корпусу боевой части приварено тонкое днище. Боевая часть снаряжается литым тротилом или амматолом 50/50.

Взрыватель марки Sl. lgr. Z. 23 п. А — относится к типу непредохранительных двойного (всестороннего) действия с двумя установками; без замедления и с замедлением в 0,15 сек. Установка взрывателя на то или иное действие осуществляется краном.

Подробное описание отдельных механизмов взрывателя и порядок работы этих механизмов можно найти в работе Г. М. Третьякова «Боеприпасы артиллерии», 1947 г., стр. 377. Воениздат МВС.

6. 300-мм фугасный снаряд

300-мм снаряд выстреливается из 5-ствольного миномета, монтируемого на прицепе.

В отличие от реактивного двигателя 210-мм снаряда реактивная камора 300-мм фугасного снаряда (рис. 45) изготовляется из цельнотянутой трубы, что технологически значительно легче и дешевле. Реактивная камора имеет две резьбы, вверху—наружную для соединения с муфтой, приваренной к боевой части, а внизу—внутреннюю для ввертывания турбинки. По длине камора несколькй короче каморы 210-мм реактивного снаряда, и пороховые шашки, имея одинаковые диаметральные размеры, короче по длине.

В верхней части каморы уложено разрезное опорное кольцо, в котором помещен основной воспламенитель, снаряженный так же, как и у 158,5-мм РС. На разрезном опорном кольце уложена решетчатая диафрагма, предохраняющая трубки пороха от разрушений при транспортировке. Снизу пороховые шашки опираются на решетчатую диафрагму, закрепленную снизу турбинкой.

Боевая часть 300-мм снаряда по сравнению с боевой частью

280-мм снаряда имеет лучшую баллистическую форму, а корпус боевой части из листовой стали толщиной в 5 мм обладает бо́льшей прочностью. Корпус боевой части состоит из двух штампованных и сваренных по стыку половин. На нижней половине образован центрующий буртик, а второй центрующий бурт находится на выступе реактивной каморы у ее нижнего среза.

В верхней части второй половины корпуса боевой части приварена головная втулка с резьбой под взрыватель Sl. Igr. Z. 23 п. А. В ту же резьбу ввинчивается стальной запальный стакан с вложенным в него стандартным детонатором.

Боевая часть снаряжается амматолом 50/50, заливаемым непосредственно в корпус.

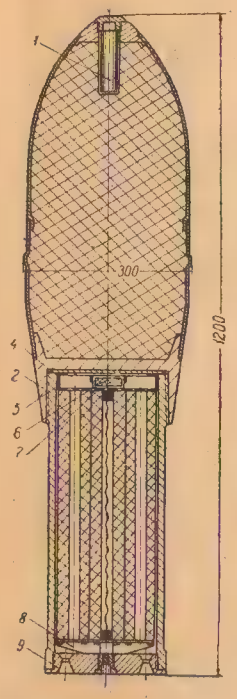


Рис. 45. 300-мм фугасный реактивный снаряд.

7. 80-мм реактивный оперенный снаряд

В конце 1941 года немецкое командование было встревожено появлением наших „Катюш" и приняло энергичные меры к разработке подобного вооружения.

В 1943 году чехословацкая фирма „Зброевка" создает 80-мм реактивный оперенный снаряд, изображенный на рис. 46. Этот снаряд является копией нашего снаряда М-8 и имеет примерно те же тактические характеристики, за исключением несколько повышенной кучности.

Улучшение кучности достигается проворачиванием снаряда лопастями стабилизатора, расположенными под углом 2° к оси снаряда.

Следует отметить оригинальную конструкцию взаимного расположения взрывателя и детонатора. Через боевую часть (рис. 47) пропущена трубка, в которой размещен детонаторный столбик.

Трубка с детонатором закрепляется легкоплавким сплавом в дне боевой части снаряда. При сгорании порохового заряда под действием высокой температуры сплав расплавляется и пружина подает столбик с детонатором вверх, приближая капсюль к жалу и обеспечивая накол капсюля при встрече с преградой. Предохранительное устройство рассмотренного взрывателя обеспечивает безопасность в обращении и при выстреле и некоторое дальнее взведение. Недостаток подобной конструкции — усложнение снаряжения.

Второй конструктивной особенностью 80-мм реактивного снаряда явилось изменение зажигания по сравнению с М-8. Вместо зажигания пиропистолетом немцы вмонтировали пиросвечу в направляющий штифт, что сделало систему зажигания более надежной.

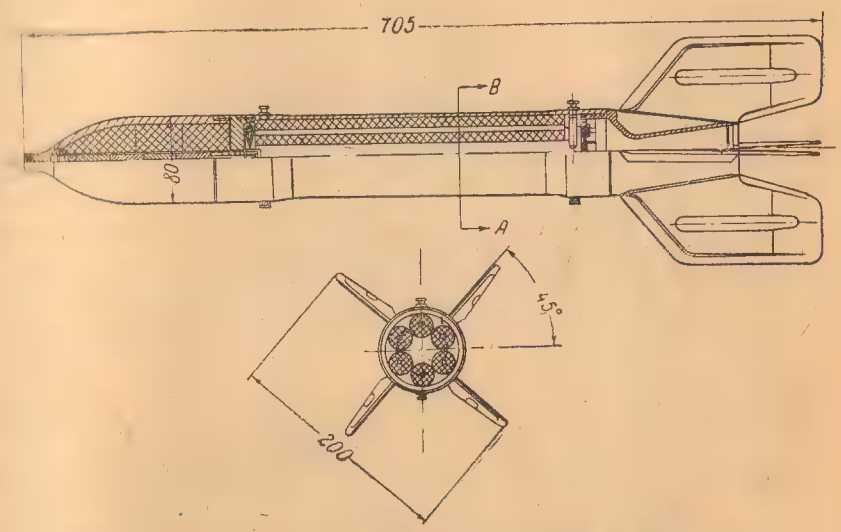


Рис. 46. 80-мм оперенный реактивный снаряд.

Боевая машина, имевшая 48 направляющих, была создана на базе вездехода полуброневого типа. Общий вид ее показан на рис. 48.

В таком виде окончательно отработанный снаряд и боевая машина к нему в 1943 году были приняты на вооружение немецкой армии и запущены в серийное производство.

Снаряды применялись на фронтах, в том числе и против советских войск.

8. 150-мм оперенный снаряд (опытный)

Кроме снаряда М-8, немцы пытались также скопировать наш снаряд М-13, сделав его в калибре 150 мм. Общий вид этого снаряда приведен на рис. 49. В нем применены следующие нововведения:

1. Так как это снаряд осколочно-фугасного действия, то для повышения его боевой эффективности через камору пропускается запальный стакан с изолированным зарядом взрывчатого вещества, которым камора дробится на осколки. Проведенное эксперимен-

тальное опробование данного принципа дробления каморы показало, что, несмотря на наличие значительной воздушной прослойки между зарядом взрывчатого вещества и стенками каморы, дробление каморы на осколки происходит достаточно удовлетворительно.

2. Немцы считали, что смещение порохового заряда внутри каморы во время горения, повидимому, вызывает большой газодинамический эксцентриситет и вызывает сильное ухудшение кучности. Поэтому они принимали меры к центральному закреплению шашки.

3. Чтобы в реактивной каморе получить соотношение между максимальным и средним давлением, наиболее близким единице, немцы в этом снаряде применяли пороха

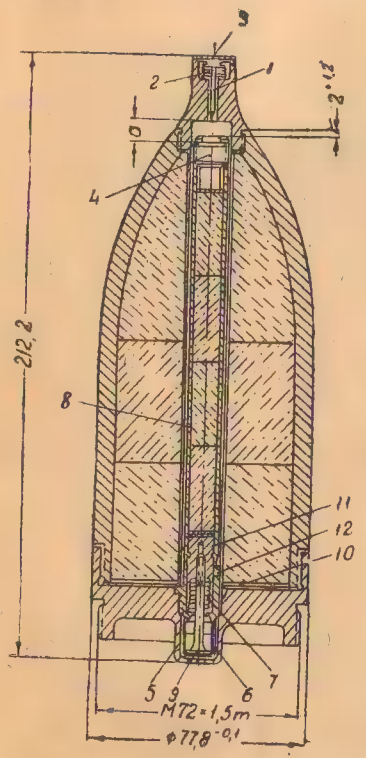


Рис. 47. Боевая часть 80-мм снаряда.

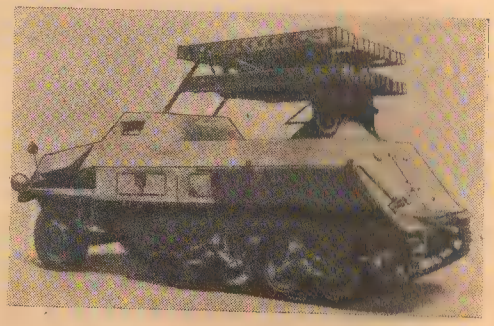


Рис. 48. Пусковая установка для 80-мм снаряда.

прогрессивного горения, изображенные ранее на рис. 7,*а*, известного под названием Кранцпульвер.

Этим способом выравнивается кривая давления.

Вопросу выравнивания давления в каморе в процессе сгорания пороха немцами уделялось большое внимание, и в целом ряде научно-исследовательских организаций производились экспериментальные работы в этом направлении.

4. 15-см снаряд чрезвычайно прост в технологии. На рис. 49 видно, что реактивная камора изготовлена из цельнотянутой трубы и имеет приваренные донья для крепления боевой части и крышки-сопла. Число резьб — мест трудоемких в производстве — минимальное.

15-см снаряд не был полностью отработан; опытные работы над ним продолжались до конца войны.

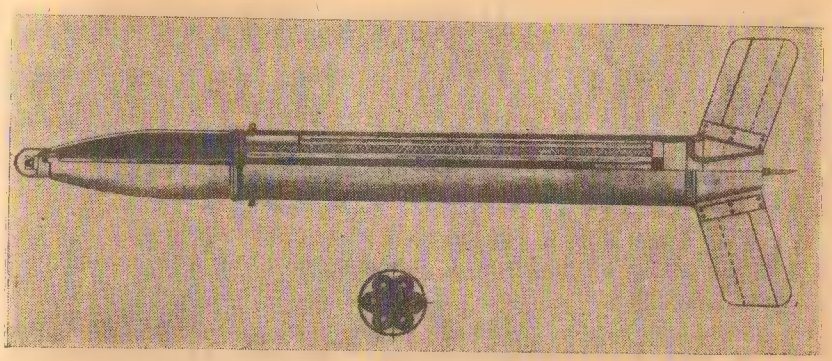


Рис. 49. 150-мм немецкий оперенный снаряд.

9. Сравнительная оценка реактивных снарядов бывшей немецкой армии

Дадим краткое сравнение снарядов наземной артиллерии бывшей немецкой армии с отечественными РС и отметим недостатки немецких снарядов.

Фугасный 280-мм снаряд и 320-мм зажигательный снаряд имеют явно неудовлетворительную дальность и для вооружения современной армии, безусловно, непригодны.

Удобно сравнить немецкий 158,5-мм осколочно-фугасный снаряд и 132-мм снаряд М-13.

	М-13	158,5-мм снаряд
Общий вес снаряда, кг	42,5	34,2
Максимальная дальность, м	8,500	6,700
Вес ВВ, кг	4,9	2,0

Таким образом, снаряд М-13, имея несколько больший вес чем 158,5-мм снаряд, значительно превосходит его по могуществу и по дальности действия.

Приведем еще сравнительные данные отечественных и немецких снарядов по так называемому условному коэффициенту экономичности $= \frac{X \cdot \omega_{ВВ}}{q}$

	М-8	М-13	158,5-мм	210-мм
Значение $\frac{X \cdot \omega_{вв}}{q}$	0,53	1,25	0,51	0,86

Следует отметить, что дальность любого немецкого снаряда не достигает дальности снаряда М-13.

При сравнении фугасных снарядов М-31 и 300-мм немецкого снаряда преимущество по дальности, кучности и могуществу на стороне последнего.

Объясняется это, как мы указывали, неудачной конструктивной формой снаряда М-31.

В дальнейшем будет показано, что снаряды большой мощности при относительно небольшой дальности должны выполняться, как турбореактивные.

Ряд деталей немецких реактивных снарядов является технологически чрезвычайно трудоемким. Это в первую очередь относится к реактивной каморе 210-мм снаряда, для штамповки которой требуется наличие чрезвычайно мощных прессов; последующая обработка каморы на станках также трудоемка.

Изготовление турбинки для 158,5-мм снаряда также затруднительно. Излишне усложнена конструкция соединения этой турбинки с боевой частью. Это было учтено в позднейших модификациях этого же 158,5-мм снаряда, которые, однако, до принятия на вооружение доведены не были.

В немецких снарядах недостаточно унифицированы отдельные узлы и детали. Например, пороховые двигатели 158,5-мм, 280-мм, 320-мм снарядов весьма схожи друг с другом, но полного тождества в них нет, хотя полная стандартизация могла быть сделана без затруднений. Причина, очевидно, в том, что различные снаряды производились различными фирмами, не связанными одна с другой.

§ 10. РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ АРМИИ США

1. Краткий обзор реактивных снарядов армии США

По сообщениям английской печати, реактивное вооружение США начало разрабатываться несколько позднее, чем в Англии, и, следовательно, позднее, чем в Германии и в Советском Союзе.

Во второй мировой войне войска США были вооружены снарядами двух калибров — 4,5 дюйма (114,3 мм) и 7,2 дюйма (182,9 мм).

К концу войны на вооружении армии США числились следующие образцы реактивных снарядов:

1) М-8 [1], М8-А1, М8-А2, М8-А3 — реактивные снаряды калибра 4,5 дюйма с раскрывающимся оперением;

2) М9, М9-А1, М9-А2, М9-А3 — учебные реактивные снаряды калибра 4,5 дюйма с раскрывающимся оперением;

3) Т-38 Е3, Т-38 Е7 — осколочно-фугасные реактивные снаряды калибра 4,5 дюйма, стабилизируемые вращением. Уже после войны снаряды этого типа были окончательно отработаны и приняты на вооружение армии США взамен снарядов М-8, им был присвоен индекс М-16;

4) Т-39 Е3, Т-39 Е7 — учебные реактивные снаряды калибра 4,5 дюйма, стабилизируемые вращением;

5) 4,5-дюймовый реактивный снаряд береговой защиты, стабилизируемый жестким оперением;

6) Т-37, Т-21 и Т-44 — осколочно-фугасный, химический и учебный реактивные снаряды калибра 7,2 дюйма, стабилизируемые жестким оперением.

От основной модели снаряда М-8, рассчитанного на стрельбу при очень узком диапазоне температур, другие образцы реактивных снарядов этого же калибра отличаются следующими особенностями:

а) снаряд М-8-А1 имеет утолщенный корпус реактивной каморы, благодаря чему расширяется допустимый температурный диапазон стрельбы;

б) снаряд М8-А2 отличается от снаряда М8-А1 более толстой стенкой корпуса боевой части;

в) снаряд М8-А3 отличается от снаряда М8-А2 модернизацией оперения, обеспечивающей наиболее плотное крепление отдельных стабилизаторов при их раскрытии.

Таким образом, основными типами реактивных снарядов армии США являются: М-8, М-16, реактивный снаряд береговой защиты калибра 4,5 дюйма, Т-37 и Т-21.

---

[1] В США принят следующий метод нумераций артиллерийского вооружения. Если образец принят на вооружение и поставлен на массовое производство, то ему дается индекс — буква М и арабская цифра. Если в образце введено какое-либо изменение, то к предыдущему индексу прибавляется буква А и арабская цифра, показывающая номер изменения. Опытные образцы, окончательно не отработанные, но идущие в производство, обозначаются буквой Т (test — опыт) и номером.

Данные этих снарядов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Характеристика	Снаряды			
	М-8	М-16	Т-37	Т-21
Калибр, мм	114,3	114,3	182,9	192,9
Длина снаряда, мм	830	790	890	1270
Общий вес, кг	16,0	19,3	27,6	23,5
Вес ВВ, кг	2,36	2,36	14,5	9,0
Максимальная скорость, м/сек	260	250	48,8	207,4
Предельная дальность, м	4180	4750	212,2	3135
Вд/Х (на предельной дальности)	—	1/120	—	—
Вб/Х	—	1/75	—	—

Весьма незначительная предельная дальность снаряда Т-37 объясняется тем, что он предназначен для стрельбы с танка для разрушения различного рода инженерных сооружений.

Рассмотрим отдельные образцы реактивных снарядов армии США.

2. Осколочно-фугасный снаряд М-8

Осколочно-фугасный снаряд М-8 изображен на рис. 50 и предназначается главным образом для вооружения самолетов, хотя

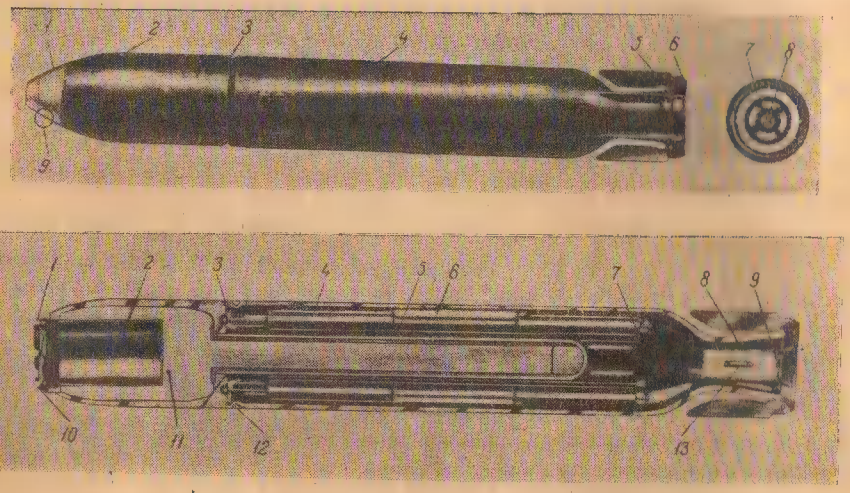


Рис. 50. Американская ракета М8.

имелось большое количество установок для использования его в наземной артиллерии.

Боевая часть реактивного снаряда длиной в 1,6 калибра и с радиусом оживала 2 калибра имеет впереди ввернутый в резьбовое очко взрыватель, за которым расположен добавочный детонатор. При хранении и во время перевозки головка взрывателя закрывается навинченным колпачком. Особенностью боевой части является трубчатый отросток диаметром ≈ 40 мм и длиной ≈ 380 мм. Этот отросток, наполненный взрывчатым веществом, проходит внутрь реактивной каморы и предназначен для ее дробления.

Корпус реактивной каморы представляет собой стальную трубу, обжатую у хвостовой части и образующую сопло. На переднем конце реактивной каморы имеется резьба для соединения с боевой частью.

В передней части реактивной каморы имеется предохранительная выточка — кольцевая канавка, по которой произойдет разрыв реактивной каморы в случае чрезмерного повышения давления, либо из-за больших температур, либо из-за закупорки сопла. В этом случае боевая часть снаряда полетит вперед и, следовательно, благодаря этой выточке расчет находится в меньшей опасности при разрыве снаряда.

На заднем конце реактивной каморы крепится кольцо, в котором размещены шесть лопастей стабилизатора. Сложенные лопасти стабилизатора крепятся вокруг сопла и удерживаются на месте специальными кольцами. При выстреливании эти кольца выбиваются струей выходящих газов, и при выходе из направляющей трубы их стабилизаторы раскрываются, достигая в диаметре 12 дюймов.

Пороховой заряд состоит из 30 одноканальных шашек наружного диаметра ≈ 18—20 мм и длиною ≈ 130 ÷ 140 мм.

Пороховые шашки одеты на проволочки, натянутые между двумя кольцеобразными пластинами, имеющими вырезы для укладывания в них концов проводов, рис. 51. Это устройство выполняет роль диафрагмы и в то же время до некоторой степени центрует пороховую шашку во время ее горения.

Воспламенитель состоит из черного пороха и электрозапала, помещенных в водонепроницаемом бумажном мешке, и закреплен в сопле посредством цемента. Провода запального шнура подсоединены к контактному диску и контактному кольцу, находящимся в задней части реактивного снаряда. Кроме того, зажигание воспламенителя может быть произведено от капсюля, разбиваемого ударником.

Среди порохового заряда находится мешок с воспламенителем (основным) рис. 51, который, воспламеняясь от соплового воспламенителя, создает необходимое первоначальное давление в реактивной каморе.

В реактивном снаряде М-8 температурный диапазон, в котором возможно вести стрельбу, чрезвычайно узкий (—6 +33°С), при-

чем в инструкциях подчеркивается, что ни в коем случае стрельба не должна производиться при температурах, выходящих из названного температурного интервала.

Если необходимо производить стрельбу при больших температурах (+10 +55°С), надо отвернуть боевую часть и вынуть три специально отмеченные пороховые шашки.

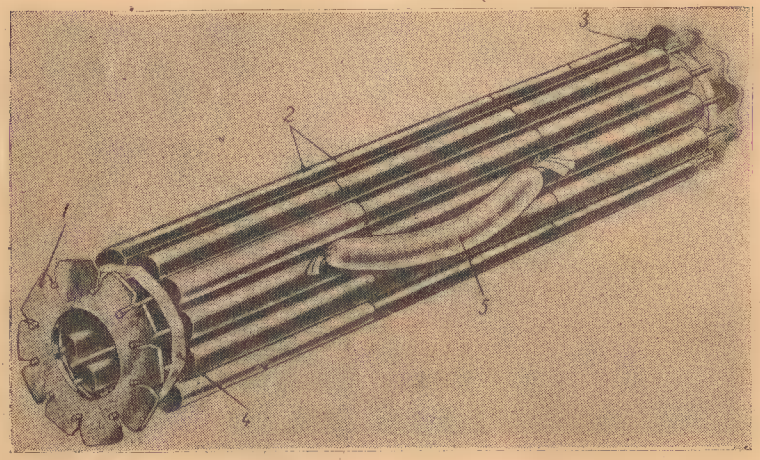


Рис. 51. Американская ракета М-8.

Утолщенная реактивная камора снаряда М8-А1 позволяет вести стрельбу при температурах от —23 до +40°С.

В снарядах М-8 применен взрыватель М-4 (и его модификации М4-А1, М4-А2) ударного действия с установкой на мгновенное и замедленное (0,1 сек) действие. Взрыватель М-4 взводится под действием сил инерции после того, как из него вынута чека. Особенностью взрывателя является то, что он взводится под действием весьма небольших усилий, порядка 100—150 г, в то время как эти усилия в обычных артиллерийских взрывателях колеблются от нескольких до сотен килограммов.

Особенностью детонаторов, применяемых в снаряде М-8, является их большой вес. Например, детонатор снаряда М1-А1 весит около 400 г (при общем весе ВВ ≈ 1,5 кг).

Для учебных снарядов применяется холостой взрыватель М-6.

Для стрельбы реактивными снарядами М-8 разработано большое количество различных пусковых установок — одноствольный ракетомет М-12, шестидесятиствольный ракетомет Т-34, монтируемый на танке «Шерман», и др.

3. 4,5-дюймовый снаряд береговой защиты

4,5-дюймовый реактивный снаряд береговой защиты (рис. 52) представляет собой оперенный снаряд, причем размах оперения не выходит за пределы каморы.

Тонкостенный корпус боевой части наполняется либо зарядом для фугасного действия, либо фосфором (дымообразующие снаряды). Корпус боевой части соединяется с реактивной каморой муфтой с резьбой.

Реактивная камора—стальная труба диаметром 57 мм, длиной—380 мм, в которой помещены пороховой заряд, воспламенитель, электрозапал, провода от которого присоединены к двум кольцам стабилизатора.

Через эти кольца, обеспечивающие стабилизацию, подается ток от источника на установке. Поэтому они иногда называются контактными кольцами.

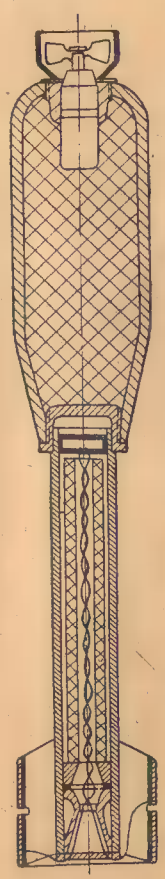


Рис. 52. 4,5'' ракета береговой защиты.

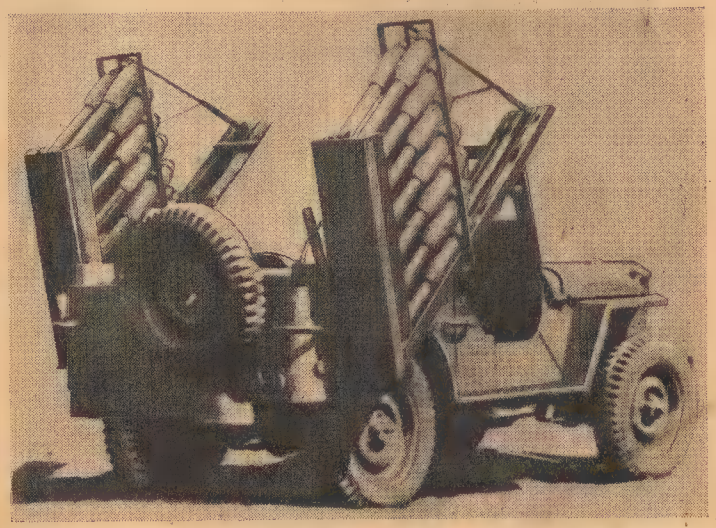


Рис. 53. 4,5'' автоматический ракетомет Т-45.

В сопле помещается влагопоглотитель, обеспечивающий сохранность порохового заряда и воспламенителя.

Для этого снаряда применяется взрыватель МК-137, взводимый через 8-10 оборотов пропеллера в 30—35 м от установки.

Стрельба этими снарядами может производиться также из полуавтоматического ракетомета Т-45, рис. 53.

4. Осколочно-фугасный снаряд М-16

Осколочно-фугасный снаряд М-16 изображен на рис. 54.

Боевая часть снаряда М-16 почти ничем не отличается от боевой части снаряда М-8.

Пороховой реактивный двигатель снаряда М-16 отличен от двигателя М-8 — наличием в конце реактивной каморы 8 косо поставленных сопел, создающих вращательное движение. Центральное сопло, закрытое стальной пластиной, служит предохранителем при выскоке давлений, благодаря чему отсутствует кольцевая выточка, которая нужна для снаряда М-8.

Пороховой заряд тот же, что и в снаряде М-8, а воспламенитель, состоящий и черного пороха, заключенного в целлулоид-

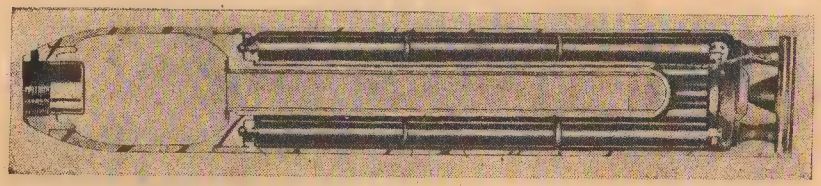


Рис. 54. Ракета стабилизируемая вращением (М-16).

ную трубку, проходит по всей длине снаряда. Шнур электрозапала подключен одним концом на контактное кольцо, другим—на массу.

Безопасные температурные пределы для этого снаряда от —30 до + 50° С.

Турбинка покрыта пластмассовым диском для предохранения сопел и предотвращения проникновения влаги или посторонних предметов.

Снаряд М-16 был доработан уже после войны и, по сообщению американской печати, введен на вооружение вместо снаряда М-8.

5. Реактивные снаряды калибра 7,2 дюйма

Реактивные снаряды калибра 7,2 дюйма подразделяются на:

1) фугасные Т-37, предназначенные для использования против бетонированных танковых препятствий и фортификационных сооружений;

2) химические Т-21, имеющие химический наполнитель и добавочный заряд для вскрытия оболочки;

3) практические Т-44, имеющие инертный наполнитель и холостой взрыватель.

Как видно из табл. 7, тактико-технические данные американских снарядов калибра 7,2 дюйма очень низки. Поэтому мы ограничимся описанием этих снарядов лишь в общих чертах.

На рис. 55 представлен общий вид фугасного снаряда Т-37, а на рис. 56 — химического снаряда Т-21.

Боевая часть каждого снаряда имеет грушеобразную форму, образованную тонкостенной оболочкой.

В снаряде Т-37 применяется донный взрыватель, собранный вместе с добавочным детонатором; в снаряде Т-21 — головной, за которым располагается добавочный детонатор. Боевая часть соединяется резьбой с реактивной частью.

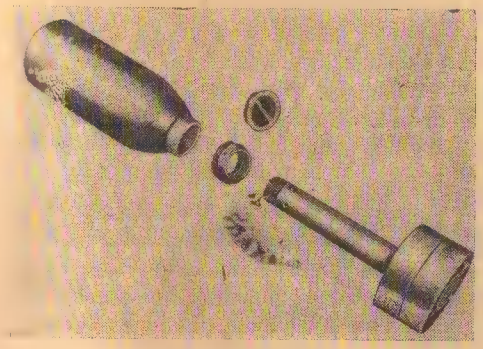


Рис. 55. Ракета Т-37.

Реактивная камора представляет собой гладкую цилиндрическую трубу диаметром 2,25 дюйма для снаряда Т-37 и 3,25 дюйма для снаряда Т-21. С одной стороны труба закрыта дном, а с другой — вставлено сопло.

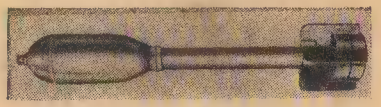


Рис. 56. Химическая ракета Т-21.

В качестве порохового заряда принята одна одноканальная шашка пороха. Воспламенитель расположен в верхней части каморы и состоит из колпачка с черным порохом и электрозапала.

Провода электрозапала проходят через трубку и сопло и присоединяются к кольцам оперения, которые являются контактами при замыкании цепи стреляющего механизма. Переднее кольцо электрически изолировано и соединяется с контактом электропроводки; заднее кольцо соединено на массу.

Оперение состоит из четырех радиальных лопастей, соединенных двумя кольцами.

Для снаряда Т-37 применяется донный взрыватель МК-146. Введение взрывателя осуществляется в первой стадии давлением газов порохового заряда, которое частично взводит взрыватель, во второй стадии — силами инерции, возникающими от ускорения движения ракеты.

Для снаряда Т-21 применяется головной взрыватель МК-147 с лопастным взведением.

Описанные реактивные снаряды предназначены для стрельбы в температурном диапазоне —10 +50°С.

Фугасные и химические снаряды Т-37 и Т-21 имеют раздельное хранение реактивной и боевой частей и собираются на предварительной позиции.

Стрельба снарядами Т-37 и Т-21 ведется из 7,2-дюймового ракетомета М-17, смонтированного на среднем танке М-4.

Ракетомет М-17 (рис. 57) имеет 20 направляющих стволов; стрельба может вестись как одиночным, так и автоматическим огнем.

Дадим краткую оценку реактивным снарядам армии США.

Из табл. 7 видно, что американские реактивные снаряды по дальности, могуществу и другим тактико-техническим показателям хуже наших отечественных реактивных снарядов и реактивных снарядов бывшей немецкой армии.

Можно отметить следующие конструктивные особенности реактивных снарядов армии США:

1) помещение в камору отростка (трубы) боевой части для дробления каморы на полезные осколки, что, повидимому, является целесообразным;

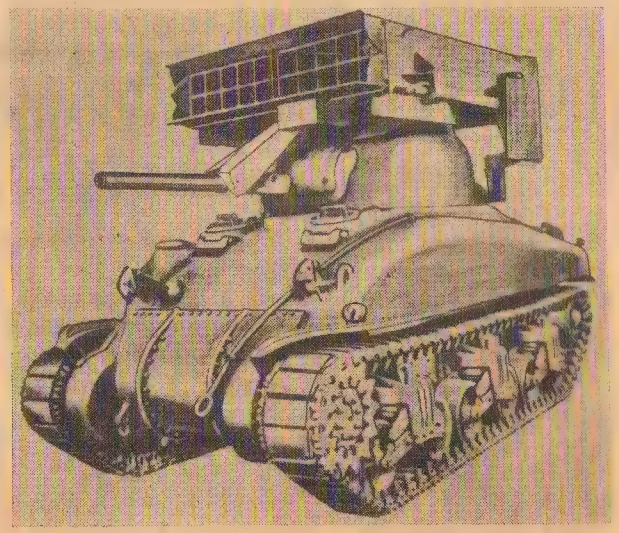


Рис. 57. 7,2'' ракетомет М-17.

2) оригинальное крепление порохового заряда в снарядах М-8 и М-16, что, благодаря некоторой центровке шашки, уменьшает газодинамический эксцентриситет;

3) конструкцию раскрывающегося оперения, которая значительно улучшает эксплоатационные качества снаряда, уменьшает габариты пусковых устройств, габариты укупорки; однако стабилизирующая мощность этого оперения явно недостаточная, что и будет показано ниже; конструктивно это оперение довольно сложно и не технологично;

4) метод подводки электротока, при использовании для этого кольца стабилизатора, создает большие удобства в быстроте заряжания, но одновременно и увеличивает опасность самопроизвольного выстрела;

5) герметизацию порохового заряда путем постановки влагопоглотителей;

6) постановку срезывающейся мембраны в сопле снаряда М-16 для предохранения от выскоков давления;

7) создание специальных взрывателей М-4, взводящихся под действием небольших сил инерции;

8) проточка предохранительной канавки на каморе снаряда М-8 нам кажется нецелесообразна;

9) регулировку давления в каморе при различных температурах путем отвинчивания боевой части и удаления нескольких пороховых шашек нельзя никак признать удачной.

Рис. 58. Пехотный матрац.

В армиях других стран, принимавших участие во второй мировой войне, тактико-технические характеристики реактивного оружия были худшими, чем в армиях СССР, Германии, США. Нам известны следующие образцы реактивного вооружения наземной артиллерии.

Реактивные снаряды английской армии. Пусковая установка, состоящая из рамы, устанавливаемой на земле с шестью или двенадцатью направляющими. Эта установка (рис. 58) носила название «пехотный матрац». Направляющими служат полуцилиндрические лотки из листового железа.

Основные данные РС: снаряд — турбореактивный; калибр — 127 мм (5 дюймов); предельная дальность — 2 740 м; Вд/х — $^1/_{40}$; Вб/х — $^1/_{20}$.

Реактивные снаряды японской армии. Впервые японцы применили реактивное оружие в июле — августе 1944 г. Пусковые установки чрезвычайно примитивны — это трубы (иногда деревянные), установленные на двуногах. Для стрельбы применяются либо авиабомбы с пороховым двигателем, либо реактивные снаряды. Дальность стрельбы порядка 1,2 ÷ 1,5 км. Стрельба, даже в случае залпового огня, производится ударноспусковым механизмом, что опасно, долго и ненадежно.

Наиболее совершенными образцами японского реактивного вооружения можно считать:

— турбореактивный снаряд калибра 203 мм, весом 90 кг и дальностью X = 2 700 мм;

— мощный реактивный снаряд калибра 447 мм, длиной 1 725 мм, общим весом 680—907 кг и дальностью полета около 2 000 м.

Б. ПРОТИВОТАНКОВАЯ РЕАКТИВНАЯ АРТИЛЛЕРИЯ

§ 11. КРАТКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ РЕАКТИВНЫХ ПРОТИВОТАНКОВЫХ РУЖЕЙ

Создание противотанковой реактивной артиллерии целиком относится к годам второй мировой войны и является логическим следствием в развитии средств противотанковой защиты, находящейся на вооружении, главным образом пехоты. В ходе войны можно было наблюдать непрерывный рост бронетанковых и бронеартиллерийских средств как с качественной, так и с количественной стороны. В табл. 8 дана краткая характеристика танкового парка немецкой армии 1944 года [1].

Таблица 8

Тип танков	Вес Т	Толщина брони мм				Максимальная скорость км/час
		лобовая	бортовая	башенная	кормовая	
Легкий танк Т-38	13	50	30	50	30	35
Легкий танк Т-II	9	30	15	15	15	45
Средний танк Т-III	22	50—60	30—40	30	40	55
Средний танк Т-IV	24	60	40	30	20	50
Тяжелый танк Т-V („Пантера")	45	85	45	100	45	50
Тяжелый танк Т-VI („Тигр Н")	56	100	82	100	82	40
Тяжелый танк Т-VI („Тигр В")	68	150	80	180	80	38

При этом необходимо отметить тот факт, что удельный вес тяжелых танков непрерывно возрастал. Начиная войну с Советским Союзом, Германия в 1941 году имела на вооружении 3 250 легких (50%) и столько же средних танков. В 1943 году Германией было изготовлено 5 950 танков; из них: 51% приходился на средние танки Т-IV, 31% — на тяжелые танки Т-V и 11% — на тяжелые танки Т-VI.

В 1944 году производство танков увеличилось до 8 338. На долю танков Т-IV приходилось 40%, танков Т-V («Пантера»)—около 48% и танков Т-VI («Тигр») — 12%. Легкие и средние танки (Т-III) в конце 1943 года были сняты с производства.

В 1943 году в Германии были созданы мощные самоходные артиллерийские пушки «Фердинанд» с толщиной брони до 200 мм.

[1] Я. М. Крутик, «Реактивные противотанковые ружья иностранчых армий», Производственно-технический бюллетень 1946 г., № 8, издательство НКВ.

В Советском Союзе и в других воюющих странах в период 1941—1945 гг. непрерывно растет качество и число танков и самоходных установок с лобовой броней до 180—200 мм и максимальной скоростью 40—45 км/час.

Известно, что наилучшим средством противотанковой защиты является артиллерия, которая, однако, не всегда может находиться в боевых порядках пехоты и, кроме того, затрудняет движение пехоты на марше, ухудшает ее маневренность. Поэтому в начале войны в качестве основных пехотных средств борьбы с танками применялись крупнокалиберные пулеметы и противотанковые ружья (ПТР). Этими же средствами были вооружены кавалерия и десантные войска для борьбы с танками в глубине обороны противника.

Однако уже к концу 1942 года стало ясно, что развитие противотанковых ружей зашло в тупик, так как защитная броня танков оказалась для них недосягаемой.

Приведенные в табл. 8 данные указывают на то, что толщина брони тяжелых и отчасти средних танков не могла пробиваться известными до тех пор противотанковыми ружьями калибра 7,9—20 мм, бронепробиваемость которых, как правило, не превышала 20—25 мм.

Требовалось новое противотанковое оружие, обладающее легкостью, портативностью, маневренностью, достаточной бронепробиваемостью.

Предвидя возможный кризис ПТР, уже в 1941 году конструкторы различных стран начали работать над созданием нового вида противотанкового вооружения. Решение этой задачи было найдено в применении кумулятивного (бронепрожигающего) снаряда. Бронепробиваемость кумулятивного снаряда почти не зависит от скорости его встречи с преградой и поэтому возможно применение снарядов с малой начальной скоростью.

Метод продвижения снаряда к цели, при условии легкости всей системы, мог быть двоякий: либо использование реактивного принципа, либо использование принципа динамо-реактивных систем. Оба эти принципа получили конкретное конструктивное воплощение, первый в образцах реактивных противотанковых ружей (РПР), второй в виде динамо-реактивных приспособлений — панцерфаустов (или фаустпатронов) и динамо-реактивных, безоткатных пушек.

Первым образцом реактивного противотанкового ружья явилось 60 мм противотанковое ружье, разработанное и принятое на вооружение в 1942 году в США под индексом М-1; так называемое РПР «Базука». Впоследствии это ружье было модернизировано и получило обозначение М1А1. Позднее противотанковое ружье М1А1 было переделано и приспособлено для использования парашютными войсками.

В Советском Союзе разрабатывалось несколько образцов реактивных противотанковых ружей. Далее будет дано подробное описание реактивной бронебойной гранаты РБГ-82 и ружья к ней.

В Германии в 1943 году на вооружении армии появились 88-мм реактивные противотанковые ружья с индексом 8,8 cm. R. Pz. B-54, известные также под названием «Offenrohr», которые по конструкции в основном сходны с американскими ружьями «Базука»[1].

Ружье «Оффенрор» дважды подвергалось модернизации — в июне 1944 года (оно стало называться «Panzerschreck» — гроза танков) и в декабре 1944 года под индексом 8,8 cm. R. Pz. B. 54/1.

В 1943 году немцы приняли на вооружение одноствольный активно-реактивный миномет «Пупхен»для борьбы со средними и тяжелыми танками.

На вооружении венгерской армии имелся двухствольный реактивный противотанковый гранатомет «Игла Салаши».

В шведской армии принято на вооружение 20-мм противотанковое реактивное ружье.

Использование динамо-реактивного принципа для создания противотанкового вооружения было воплощено в следующих образцах:

В США — 57-мм противотанковое ружье, изготовленное в конце 1944 года и испытанное на фронтах в начале 1945 года. 57-мм ПТР под индексом М-18, имеет вес мины 1,35 кг и дальность стрельбы 3,2 км. Динамо-реактивные пушки, чем собственно и является американское 57-мм ПТР, относятся к самостоятельному разделу вооружения и здесь не рассматриваются.

Ближе к РПР стоят германские динамо-реактивные приспособления, известные под названием «Faust patron», появившиеся в немецкой армии в 1943 году.

Общая оценка реактивных противотанковых ружей и динамо-реактивных приспособлений (фаустпатронов) позволяет сделать заключение, что первые имеют преимущества в дальности и кучности стрельбы, а вторые — в легкости, дешевизне и маневренности.

Основные характеристики противотанковой реактивной артиллерии показаны в табл. 9[2].

Тактико-технические характеристики реактивной противотанковой артиллерии, приведенные в табл. 9, показывают, что РПР являются мощным противотанковым средством ближнего боя. В соответствии с этим можно наблюдать непрерывный рост количества РПР, состоящих на вооружении в дивизии. Так, немецкая пехотная дивизия организации 1943 года насчитывала 96 противотанковых ружей. В 1944 году немецкая пехотная дивизия имела на вооружении 108 реактивных 88-мм противотанковых ружей «Панцершрек».

[1] Имелись сообщения о том, что 88-мм противотанковые ружья были сконструированы на базе американских противотанковых ружей, захваченных немцами в 1942 году в Ливии.

[2] Данные заимствованы из работы Островского «Краткий отчет по отработке 82-мм реактивной системы».

Таблица 9

Характеристика	РПР Островского (СССР)	„Базука" (США)	„Офенрор" (Германия)	„Пупхен" (Германия)	Фаустпатрон Р-150 (Германия)
Калибр, мм	82	60	88	88	100
Вес системы, кг	36	8	9,2	150	4,0
Вес гранаты, кг	4,0	1,7	3,32	2,63	2,3
Вес ВВ, кг	0,6	0,35	0,7	0,7	1,2
Максимальная дальность, м	2000	600	1000	1800	600
Дальность прямого выстрела, м[1]	200	110	145	200	120
Максимальная скорость, м/сек	170	85	115	160	90
Бронепробиваемость, мм	150	60	150	120	150
Прицельная скорострельность за 1 мин.	6	3	3	7	Система единичн. выстрел
Б/Х	1/400	1/580	1/300	1/250	1/100
Вн/Х	1/350	1/320	1/200	—	1/100

В роту противотанкового оружия пехотного полка входит 2 взвода ружей «Панцершрек». Взвод состоит из трех отделений по 6 ружей в каждом. Огонь из ружей «Панцершрек» ведется сосредоточенно отделением или взводом.

По данным германского министерства вооружений, всего за войну было произведено около 300 000 реактивных ружей и около 6 000 000 фаустпатронов.

В армии США, по данным на 1944 год, пехотная дивизия имела 557 ружей, а танковая дивизия — 607 ружей.

Следует отметить, что наряду с достаточной бронепробиваемостью реактивных противотанковых ружей, дальнобойность их мала. Дальность действительного огня РПР составляет 150—200 м. Это позволяет танковым десантам и следующей за танками пехоте вести успешную борьбу с дистанции 200—300 м с группами реактивных противотанковых ружей.

§ 12. ОТЕЧЕСТВЕННОЕ РЕАКТИВНОЕ ПРОТИВОТАНКОВОЕ ВООРУЖЕНИЕ

Краткий обзор разработки образцов РПР

Работы по созданию противотанкового ружья (сочетающего легкость и портативность системы вооружения стрелкового типа с эффективностью, равной эффективности бронебойного артиллерийского выстрела), необходимого для вооружения пехотных, мотострел-

[1] Дальность прямого выстрела при высоте цели равна 2 м.

ковых, кавалерийских, десантных и других подразделений, были начаты у нас в 1941 году. Главнейшими требованиями, которые были предъявлены к этому виду вооружения, следующие:

1) меткость на дистанциях прицельного огня, надежность поражения современных танков и самоходных артиллерийских установок;

2) легкость при движениях в любых условиях боя и переходов;

3) простота в освоении, безотказность и безопасность в действии.

Главнейшими вопросами, подлежащими в то время исследованию, были:

1) разработка порохового двигателя, исследование горения и воспламенения тонкосводных порохов в различных температурных диапазонах;

2) разработка боевой части, исследование комплекса вопросов, связанных с кумулятивным эффектом;

3) разработка стабилизации снаряда на полете;

4) конструктивная разработка противотанкового ружья.

Работы по созданию РПР велись главным образом в СКБ-1 министерства нефтяной промышленности под руководством инженера Островского.

В результате проведенной исследовательской и конструкторской работы были разработаны противоанковое ружье РПР-82 и реактивная бронебойная граната РБГ-82, которые введены летом 1945 года в штаты вооружения войск.

Однако этому образцу предшествовали 2 других образца противотанковой гранаты калибром 65 и 96 мм. Остановимся вкратце на истории создания этих образцов, поскольку ошибки, допущенные конструкторами при отработке этих снарядов, весьма поучительны.

65-мм РПР. В первом образце гранаты к 65-мм РПР, желая избавиться от вредного влияния эксцентрично действующей реактивной силы на рассеивание реактивных снарядов, конструктор решил применить быстро горящий пороховой заряд, сгорающий в стволе ружья. Кроме того, достоинством такого метода сжигания является безопасность от поражения расчета пороховыми газами. Боевая часть была рассчитана на пробиваемость брони в 30 мм. Стабилизация снарядов предусматривалась в 2-х вариантах — оперением и вращением. На рис. 59 и 60 приведены чертежи 65-мм турбореактивной и оперенной гранаты. В турбореактивной гранате применено кольцевое сопло с припаянными наклонно лопатками турбинки. Конструкция кольцевого сопла с лопатками, закрепленными в корпусе реактивной каморы, имела ряд недостатков, поэтому была разработана реактивная часть, у которой кольцевое сопло было заменено центрально расположенным соплом Лаваля, на конец которого прикрепляется литая турбинка, необходимая для сообщения гранате жироскопического эффекта.

Так как гранаты в обоих вариантах не были достаточно устойчивы, был испытан третий вариант конструкции с вынесенным оперением (рис. 60).

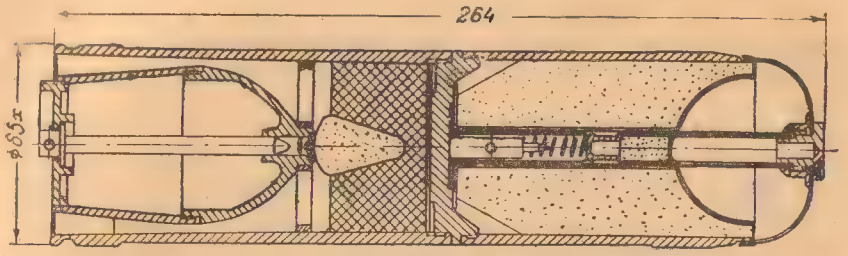


Рис. 59. 65-мм турбореактивная граната.

В марте 1942 г. после демонстрации РБГ-65 Командованию ГАУ КА, конструкторам было предложено поднять ее бронепробивную способность с 30 до 50—60 мм. Для увеличения бронепробивной способности было решено перейти на калибр 96 мм.

Рис. 60. 65-мм оперенная реактивная граната.

96-мм реактивная бронебойная граната кумулятивного действия изображена на рис. 61. В реактивной каморе длиной 100 мм и диаметром 65 мм имеется 6 сопел диаметром 17 мм.

Рис. 61. 96-мм турбореактивная граната.

Реактивный заряд выполнен в виде фашинки из спиральной пороховой ленты марки НГВ толщиной 0,7 мм. На ленте нанесен ряд кернов высотой 0,15 мм, что обеспечивает необходимый межвитковый зазор. Электрозапал вставляется в центральный канал фашинки.

Корпус бронебойной головки сделан из пластмассы. Баллисти-

ческий наконечник выполнен из тонкого стального листа, а в верхнюю часть ее запрессована пластмассовая гайка под резьбу головного взрывателя. Взрыватель переделан из штатного, типа М-50.

Применение порохов с небольшой толщиной горящего свода приводило к очень высоким давлениям порядка 1 100 кг/см² при температуре + 15°С, 1 400 кг/см² при температуре +40°С и к тому, что порох сгорал на пути 200—300 мм длины ствола. Была достигнута максимальная скорость $v_{max} = 86$ м/сек.

Опытные отстрелы показали, что если в условиях положительных температур стабильность давлений можно считать удовлетворительной, то при отрицательных температурах получаются большие разбросы давлений, что, повидимому, связано с недостаточной механической прочностью пороховой нитроглицериновой ленты. При этом были также получены значительные отклонения в скорости снаряда. В условиях низких температур наблюдалась также плохая устойчивость гранаты на траектории.

В результате опытных стрельб авторы пришли к выводу, что следует отказаться от идеи сжигания реактивного заряда в пределах канала ствола. Разработка тонкосводного заряда для условий большого интервала температур (от — 40° до + 40° С) практически невозможна из-за большой температурной зависимости и невозможности получения скоростей порядка 150 м/сек вследствие небольшой плотности заряжания и большого веса реактивной каморы, работающей при больших давлениях.

К концу 1942 года было поставлено задание: довести дальность прямого выстрела до 200—300 мм. Для достижения такой дальности пришлось взять пороховой заряд из 7 шашек 24/6-115, при этом горение заряда происходит вне канала ствола.

Такой вариант был разработан, причем была получена скорость 264 м/сек и кучность при положительных температурах порядка Вб/Х = 1/600.

Ввиду недостаточной прочности пластмассового корпуса боевой части диаметром 96 мм, было решено перейти на калибр 82 мм, изготовляя корпус стальным.

Хотя применявшаяся в гранатах калибра 65 и 96 мм электрическая система зажигания действовала достаточно надежно, было решено перейти на механическую систему воспламенения по следующим причинам:

а) применение в конструкции гранаты и ружья элементов электрической системы изоляции усложняет их изготовление;

б) сравнительно частая замена электробатарей из-за истощения их, независимо от продолжительности пользования;

в) бо́льшее удобство в обращении механического устройства воспламенения.

Реактивная часть ТРБГ-82 состоит из каморы (рис. 62) с наружной резьбой для соединения с корпусом боевой части и внутренней

резьбой для соединения с турбинкой. Турбинка имеет 12 сопел диаметром 3,7 мм и углом наклона 25°. Реактивный заряд состоит из 7 шашек 24/6-115 весом 530 г.

В центральное отверстие турбинки вставляется запал с капсюлем-воспламенителем.

Бронебойная часть гранаты представляет собой конструкцию разрывного заряда с полусферической формой кумулятивной выемки.

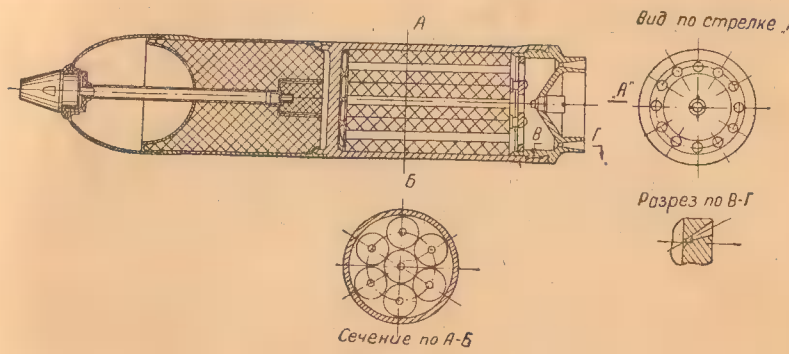


Рис. 62. Турбореактивная граната.

Испытания ТРБГ-82, проведенные в августе 1943 г., показали следующие результаты:

1) скорость гранаты $v_{max} = 250$ м/сек и дистанция прямого выстрела 300 м;

2) баллистическая стабильность при температурах заряда ± 40°С достаточная;

3) эффективность гранаты, достаточная для надежного поражения 60 мм броневлиты под углом до 30°;

4) кучность боя Вв/Х=1/250, $Вб/Х = \frac{1}{170}$, что было удовлетворительным для стрельбы на дистанцию до 100 м и неудовлетворительным для стрельбы с дистанции 200—300 м. Для улучшения кучности было решено перейти на порох 13,8/5,5-112, благодаря чему понизилась скорость до 225 м/сек, но увеличилась кучность до $Вв/Х = \frac{1}{300}$ и $Вб/Х = \frac{1}{300} \div \frac{1}{400}$.

В последующем варианте для улучшения кучности был принят порох 10/4—150. Форма кумулятивной воронки была принята коническая.

При испытании ружья и гранаты (ноябрь — декабрь 1943 г.) были получены следующие интересные результаты о действии кумулятивного заряда:

1) при стрельбе из ружья конструкция разрывного заряда с полусферической формой кумулятивной выемки, по сравнению с конической формой, отличается бо́льшей эффективностью (примерно на 50%) и обеспечивает пробивание 90-мм бронеплиты;

2) при стационарных подрывах конструкция разрывного заряда с глубокой конической формой кумулятивной выемки, по сравнению с полусферической, отличается бо́льшей эффективностью (почти в 2 раза) и обеспечивает пробивание брони толщиной до 180 мм;

3) разрывной заряд с полусферической формой кумулятивной выемки при стрельбе из ружья характеризуется небольшим снижением эффективности против результатов подрыва в стационарных условиях;

4) разрывной снаряд с конической формой кумулятивной выемки при стрельбе из ружья снижает свою эффективность примерно в три раза против эффективности того же заряда при стационарном подрыве.

Одновременно с этими выводами были получены следующие результаты:

1) принятые размеры баллистического наконечника (95—115 мм при конической выемке и 150—175 мм при полусфере) выбраны правильно;

2) скорость встречи с преградой до 230 м/сек при правильно выбранной высоте баллистического наконечника не оказывает влияния на бронепробивную способность турбореактивной гранаты.

В результате экспериментально-исследовательских работ были исключены предполагавшиеся ранее причины (высокая скорость встречи с преградой, неправильные размеры отдельных элементов кумулятивного устройства, недостаточная прочность укрепления их в корпусе, недостаточная чувствительность взрывателя), которые, как казалось, могли снижать кумулятивный эффект. Было сделано заключение о вредном влиянии вращения разрывного заряда на кумулятивный эффект.

Проведенные стрельбы невращающимися и вращающимися гранатами подтвердили это предположение.

Все эти исследования привели к заключению о необходимости отработки гранаты, стабилизирующейся на полете оперением. .

РБГ-82. Граната РБГ-82 (рис. 63) состоит из боевой части (1), содержащей разрывной заряд кумулятивного действия, реактивной части (2), кольцевого стабилизатора (3), взрывателя ГВ-82 и запала ЗП-82-П. Рассмотрим более подробно отдельные узлы РБГ-82.

Б о е в а я ч а с т ь. Конструкция и детали боевой части изображены на рис. 64. Корпус (1) имеет в нижней части коническую форму и изготовляется из отрезка трубы путем осадки ее на конус. Кумулятивный конус (2) и насадка (3), служащая для лучшего формирования кумулятивной струи, удерживаются в корпусе

закаткой в выточку корпуса (1). На корпус насажен и приварен к нему точечной электросваркой штампованный обтекатель (4) из миллиметрового декапированного железа. В горловину обтекателя запрессована и приклепана пластмассовая втулка (5), имеющая очко под взрыватель ГВ-82. Расстояние от конца насадки сопла (3)

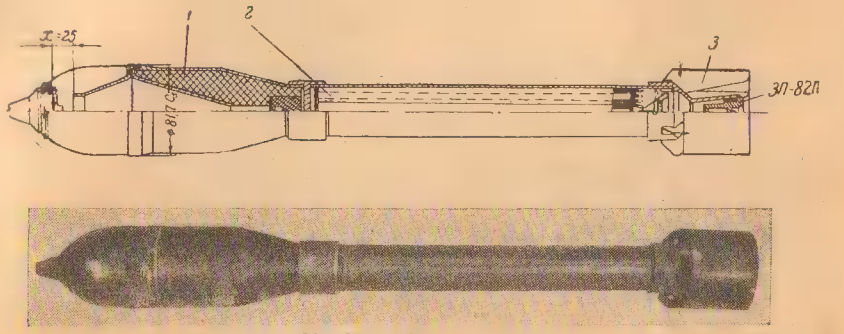


Рис. 63. Общий вид гранаты.

до конца взрывателя рассчитано таким образом, чтобы оно было не меньше величины деформации тонкого материала обтекателя, определяемого временем от момента соприкосновения взрывателя с прегадой до полной детонации разрывного заряда. Разрывной заряд весом 0,6 кг состоит из сплава тротил-гексоген в пропорции 1 : 1 и заливается в готовый корпус со стороны дна.

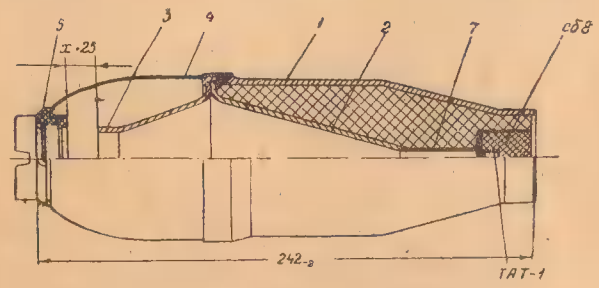


Рис. 64. Боевая часть гранаты.

Детонатор Сб.8 представляет шашку весом 17 г флегматизированного тэна, снаряженную штатным капсюлем-детонатором ТАТ-1 лучевого действия. Детонатор заключен в штампованный колпачок из декапированного железа.

Проведенные испытания показали весьма высокую бронепробиваемость РБГ-82. В целях получения большей дальности стрельбы возможно и желательно некоторое уменьшение веса боевой части РБГ-82.

Взрыватель ГВ-82. Взрыватель ГВ-82 (рис. 65) разработан на базе штатного взрывателя М-50. На рис. 66 показано положение отдельных частей взрывателя в обращении и при стрельбе. До выстрела папироса с жалом удерживается в своем положении двумя нижними шариками, а оседающий цилиндр — верхним шариком и пружиной. В момент выстрела оседающий цилиндр по инерции перемещается назад, благодаря чему верхний шарик падает в большую полость корпуса и прижимается к утяжеляющему кольцу оседающего цилиндра. После окончания действия реактивного заряда гранаты оседающий цилиндр под действием пружины снова перемещается вперед и вследствие отсутствия на его пути верхнего шарика доходит до упора, освобождая при этом два нижних шарика, которые выпадают в полость корпуса.

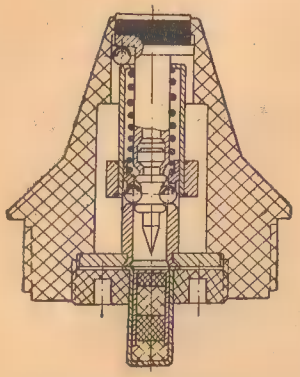


Рис. 65. Взрыватель ГВ-82.

При взведенном положении взрыва головка папиросы выступает за срез головки взрывателя на 2 мм, при этом на папиросе видна красная полоса.

При ударе о преграду папироса вместе с оседающим цилиндром, преодолевая усилие пружины, отходит назад и жало, не удерживаемое шариками, надвигается на капсюль-детонатор и накалывает его. Огненный луч капсюля-детонатора передается капсюлю донного детонатора, после чего происходит детонация всего разрывного заряда.

Отличие взрывателя ГВ-82 от М-50 состоит в следующем:

1) корпус ГВ-82 выполнен из пластмассы, что увеличивает чувствительность взрывателя при стрельбе по бронепреграде, упрощает и удешевляет его изготовление;

2) детонатор с капсюлем-детонатором М-1 заменен штатным капсюлем-детонатором накольного действия МГ-201;

3) вес оседающего цилиндра увеличен вдвое для приведения условий взводимости к ускорениям РБГ-82. Испытание взрывателей ГМ-82 показало их достаточную надежность действия и удовлетворительную безопасность в служебном обращении.

Реактивная часть РБГ-82. Конструкция реактивной части РБГ-82 изображена на рис. 67. Камера (8) реактивной части изготавливается из термически обработанной стали марки 30ХГСА (хромансиль).

Заготовка — цельнотянутая труба. Наружный диаметр каморы — 43 мм, минимальная толщина стенки — 1,8 мм. Камора имеет навинтное дно (9), которым она соединяется с боевой частью РБГ-82. Сопло 16 — центральное и является одновременно крышкой каморы. Между торцом каморы и внутренним торцом сопла зажат

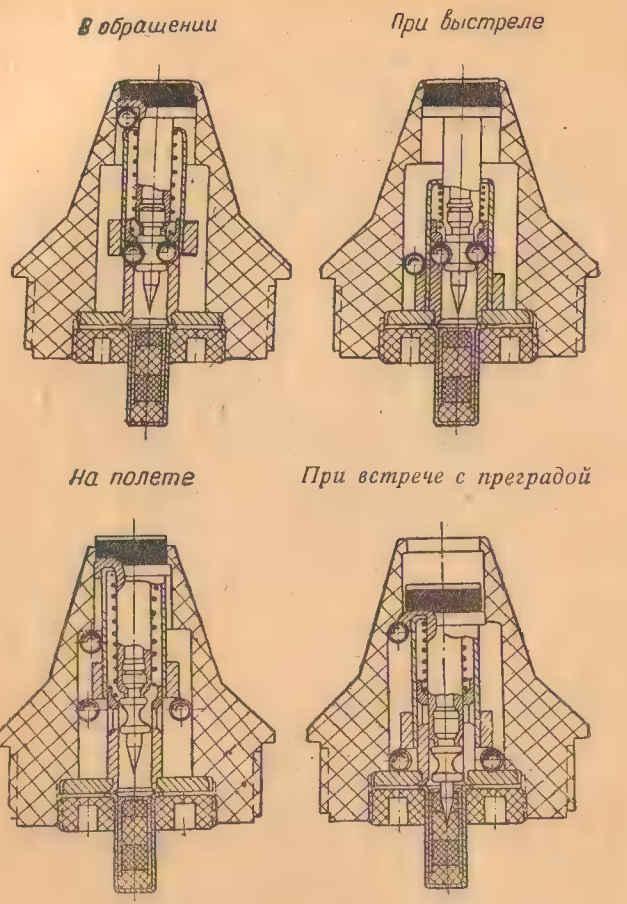


Рис. 66. Схема взведения взрывателя.

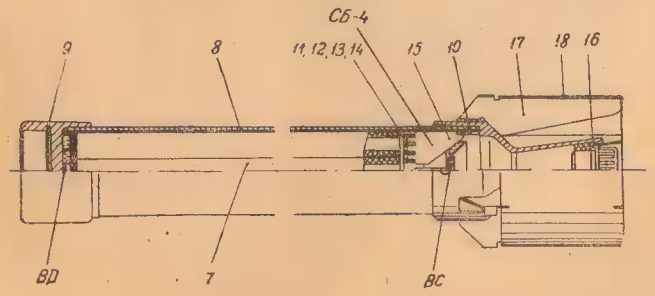


Рис. 67. Реактивная часть.

буртик диафрагмы Сб 4, служащей для удержания порохового заряда в каморе. Диафрагма составлена из 4 концентрических колец толщиной 1,5—2 мм, скрепленных с помощью 4 ребер (15) с опорным кольцом (10) на латунной пайке.

К крышке-сопло 6 ребрами прикрепляется кольцо стабилизатора (18). На каждом ребре (17) имеется загнутая лапка, служащая центрующим элементом хвостовой части гранаты. Две диаметрально расположенные лапки отогнуты до диаметра 83,5 мм, т. е. на 1,5 мм больше калибра. Это удерживает гранату в стволе. Реактивный заряд (7) весом 340 г составлен из 7 шашек нитроглицеринового пороха марки Н-31, размером каждая 13,6/7—300 мм. Воспламенение заряда производится запалом ЗП-82-П и двух воспламенителей соплового и донного, состоящих из ДРП весом по 4 г.

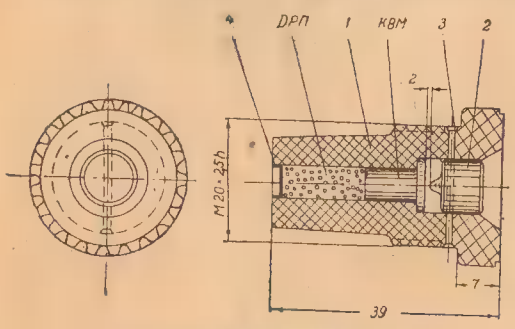


Рис. 68. Запал взрывателя.

Запал ЗП-82-П. Изображенный на рис. 68 запал состоит из пластмассового корпуса (1), в центральное отверстие которого запрессован штатный капсюль-воспламенитель ударного действия. Над капсюлем в центральное отверстие засыпано 0,4 г пороха ДРП, удерживаемого бумажным кружком (4), посаженным на лаке. Перед капсюлем КВМ помещен латунный боек (2), постоянно связанный с корпусом медной проволочной чекой (3).

В сопло под давлением 100—150 кг впрессована конусная пластмассовая втулка, имеющая резьбовое очко для ввинчивания ЗП-82-П. Все пластмассовые втулки запала проверяются на выпрессовку силой 25 кг.

Воспламенение реактивного заряда при выстреле происходит следующим образом. После разбивания бойком запала-капсюля КВМ из центрального отверстия запала посылается луч огня к сопловому воспламенителю. Действием соплового воспламенителя одновременно раскалывается и выбрасывается из сопла запал ЗП-82-П вместе с пластмассовой втулкой, и форс огня передается на донный воспламенитель, от которого воспламеняется основной заряд.

На рис. 69 изображено РПР-82 (образца 1945 г.). Главнейшие узлы этого ружья следующие: ствол (1), стреляющий механизм (2), спусковой механизм (3), плечевой упор (4), прицельное приспособление (5), рукоятка для переноски (6), щит (7), снабженный

боковыми складными брезентовыми фартуками, и станок с колесным ходом (8).

В июне 1945 года РБГ и РПР-82 введены в штаты вооружения

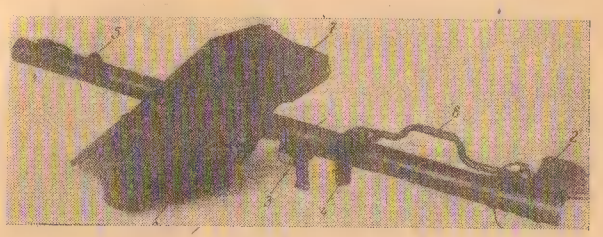


Рис. 69. РПР-82.

войск, получив индекс СПГ-82 (станко-противотанковый гранатомет).

По дальности стрельбы, кучности боя, бронепробиваемости и скорострельности эта система превосходит образцы аналогичного вооружения иностранных армий.

§ 13. ПРОТИВОТАНКОВОЕ РУЖЬЕ M1A1 (США)

Противотанковое ружье M1A1 (известно также под названием «Базука») изображено на рис. 70 и представляет собой тонкостен-

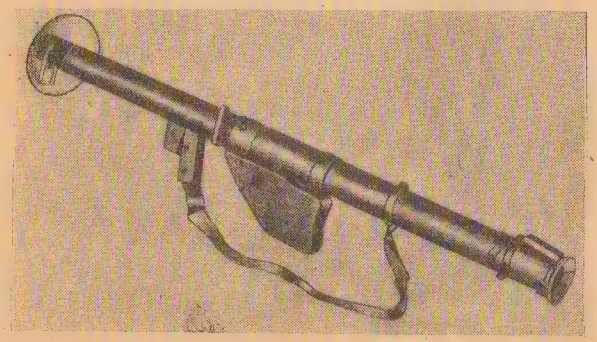


Рис. 70. РПР M1a1.

ную трубу диаметром 60 мм и длиной 1 370 мм. На трубе закреплены рукоятка со спусковым приспособлением, приклад, прицельные приспособления, контактная коробка с предохранителем.

На трубу над прикладом одевается кожух для предохранения лица стрелка от ожога металлом. Для упрочнения трубы участок от приклада на некоторой длине обмотан проволокой. Для предохранения стреляющего от ожогов (от несгоревшего пороха и от пламени реактивного заряда) на дульной части трубы укреплен конический проволочный экран.

Воспламенение порохового заряда снаряда осуществляется электрическим способом. При производстве выстрела ток передается по следующей цепи: от электробатареи к спусковому механизму, через контактное кольцо к проводу электрозапала. Второй полюс электробатареи соединен на массу. Для проверки работы батареи и исправности электроцепи служит контрольная лампочка, которая включена параллельно в электроцепь ружья.

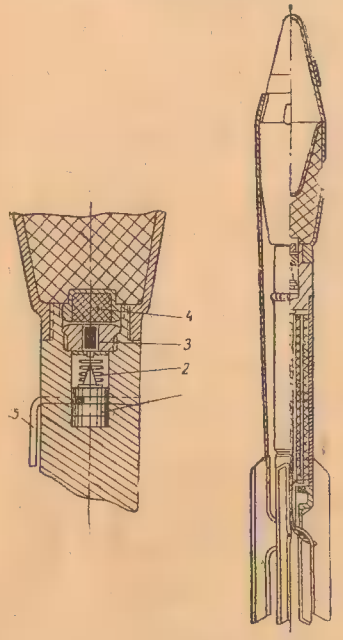


Рис. 71. Граната М6А1 и М6А3.

Прицельным приспособлением служит целик, шарнирно закрепленный на трубе, и визир с тремя мушками для дальностей 100, 200 и 300 ярдов.

Основным недостатком противотанкового ружья М1А1 является малая дальность прямого выстрела. Современный танк при скорости 45 км/час пройдет 100 м в течение 8 секунд, а на заряжание ружья требуется 15—20 секунд. Таким образом, при стрельбе по движущемуся танку из ружья можно произвести только один прицельный выстрел и то при условии заблаговременной подготовки его к стрельбе. Другим не менее важным недостатком является отказ работы электробатарей при температурах ниже —10° С.

Полный вес ружья 6,13 кг.

Для стрельбы из ружья М1А1 применяются гранаты М6А1 и М6А3, модификации гранаты М6, изображенной на рис. 71. Конструкция этой гранаты принципиально не отличается от описанной ниже конструкции немецкой гранаты к ружью «Оффенрор», за исключением устройства взрывателя. Взрыватель собственного корпуса не имеет и монтируется в гнезде переходника снаряда. Он состоит из инерционного ударника с жалом (1), спиральной пружины (2), втулки с капсюлем-воспламенителем (3), детонатора (4) и предохранительной чеки, проходящей сквозь отверстия в стенке переходника в кольцевой паз ударника. Перед выстрелом предохранительная чека вынимается, после чего ударник удерживается от

движения вперед только спиральной пружиной. Граната М6А3 отличается от гранаты М6 тем, что ее боевая часть имеет полусферическую оживальную форму, вместо заостренной формы снаряда М6, и для улучшения стабилизации на полете и кучности на 6 лопастей стабилизатора одевается кольцо, чего не было у снаряда М6. Время горения порохового заряда, состоящего из пяти одноканальных шашек, составляет 0,02—0,03 сек; горение заряда заканчивается в стволе.

По данным американского руководства, граната при угле встречи 60° прожигает гомогенную стальную броню толщиной более 76 мм. Диаметр входного отверстия, прожигаемого гранатой, около 25 мм. Граната пробивает каменную стену толщиной до 300 мм.

Имелись другие модификации этого снаряда: М7А4 — практический снаряд, снаряд М10WP — химический, имеющий повышенную скорость, и некоторые другие.

§ 14. РЕАКТИВНОЕ ПРОТИВОТАНКОВОЕ ВООРУЖЕНИЕ БЫВШЕЙ НЕМЕЦКОЙ АРМИИ

1. 88-мм германское ружье ПТР-54

(Немецкое обозначение: 8,8 cm. R. Pz. B54, Offenrohr, Panzerschreck).

Разработанное на базе американского РПР «Базука», немецкое ружье «Оффенрор» характеризуется следующими достоинствами:

1) введен импульсный генератор (взамен аккумуляторной батареи), работающий вне зависимости от окружающей температуры;

2) выбран реактивный снаряд более крупного калибра, дающий возможность пробивать броню тяжелых танков на дальностях до 150 м;

3) увеличена скорострельность (по немецким данным 10 выстрелов/мин).

На рис. 72 изображен реактивный снаряд кумулятивного действия немецкого противотанкового ружья «Оффенрор».

Все детали боевой части изготовлены из мягкой листовой стали штамповкой и соединены между собой закаткой и сваркой. Внутрь корпуса (1) вставлена фигурная кумулирующая воронка (2) с головной насадкой (3), размеры которой выбираются соответственно времени срабатывания взрывателя и скорости снаряда при встрече с преградой. Кумулирующая воронка и головная насадка дополнительно скреплены с корпусом стальным кожухом (4). На верхний конец головной насадки наварена втулка (5) с резьбой под взрыватель AZ-5075, взводящийся после выстрела, примерно в 3 м от дульного среза ружья. Внутрь корпуса боевой части через отверстие соединительной муфты (6) запрессована в пластическом состоянии смесь (7) — (60% гексогена и 40% тротила).

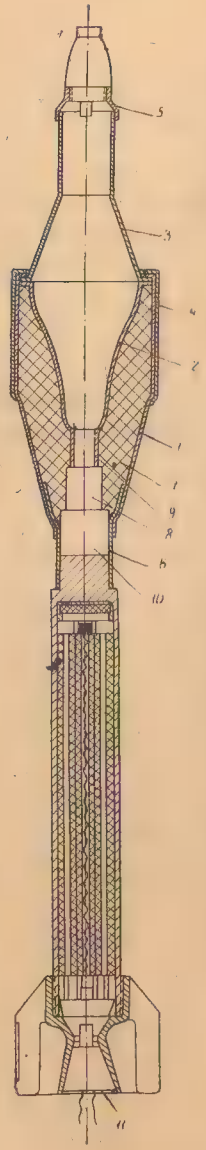


Рис. 72. 88-мм противотанковая граната.

Технологический процесс наполнения оболочки взрывчатым веществом. Корпус боевой части с наглухо закрепленной в ней кумулирующей воронкой устанавливают муфтой (6) вверх и заполняют кашицеобразной массой взрывчатого вещества. За этим следует первая подпрессовка пуансоном с некоторой выдержкой его до затвердевания массы взрывчатого вещества. После удаления пуансона следует второе заполнение той же массой и подпрессовка фигурным пуансоном. При этом, повидимому, берут определенное количество взрывчатого вещества, чтобы при подпрессовке затвердевающая пластичная масса заполнила все свободное пространство в трубке до ее среза.

Такой способ наполнения оболочек представляет определенный интерес, так как исключает сверловку гнезда — наиболее опасную операцию в снаряжении, а также и потери взрывчатого вещества, неизбежные при сверловке и последующей чистке.

Вес разрывного заряда 0,66 кг. В гнезде заряда вставлен стандартный детонатор (8), который соединен с внутренним пространством кумулирующей воронки алюминиевой трубочкой (9).

Детонатор и ВВ удерживаются деревянным вкладышем (10), являющимся в то же время буфером. В отличие от известных форм немецких кумулирующих воронок, данный образец имеет переменную толщину стенок, сложную конфигурацию обвода и большую высоту.

Боевая часть соединяется с реактивной электросваркой.

Реактивная камора представляет собой гладкую цилиндрическую трубу, передний конец которой соединяется с муфтой (6) боевой части, а на задний конец одевается насадка-сопло со стабилизатором. Пороховой заряд состоит из семи шашек дигликолевого пороха размером 10/20-200, общим весом 0,177 кг.

Воспламенитель расположен в верхней части реактивной каморы и состоит из пиротехнического состава, запрессованного в алюминиевую оболочку и прикрытого для герметичности нитропленкой. К воспламенителю через центральную пороховую трубку идут две целлулоидные трубки со стопиновыми нитями и петардами из дымного пороха, являющимися огнепроводом к воспламенителю. Пороховой реактивный заряд—сезонный, выпускается для зимних и летних условий. Снаряды, предназначенные для летних условий, могут применяться в температурных пределах от —5 до +50°. При стрельбе этими снарядами при низких температурах появляется большое рассеивание. Снаряды, предназначенные для стрельбы в зимних условиях (на каморе снаряда слово Arkt), могут применяться при температуре —40 до +30°С. Применение этих боеприпасов при температуре выше + 30° приводит к повышенным давлениям и разрыву реактивной каморы.

Пороховой заряд опирается на колосниковую диафрагму, которая в свою очередь опирается на насадку-сопло, навинчиваемую на

реактивную камору. Важнейшие размеры насадки-сопла: $d_к = 12{,}7$ мм; $d_a = 21{,}9$; $\zeta = \frac{d_a}{d_к} = 1{,}73$.

К насадке-соплу привариваются 6 перьев стабилизатора, скрепленных ободком, являющимся центрующей поверхностью при ведении снаряда по стволу РПР.

В сопло реактивного двигателя вставляется на лаке электрозапал. Сопло с запалом до стрельбы закрывается металлической крышкой (11), герметизирующей камору. Источником тока для воспламенения заряда применяется так называемый импульсный генератор (штоссгенератор, индуктивный генератор). Дадим краткое описание импульсного генератора, применяющегося и для других образцов реактивного оружия.

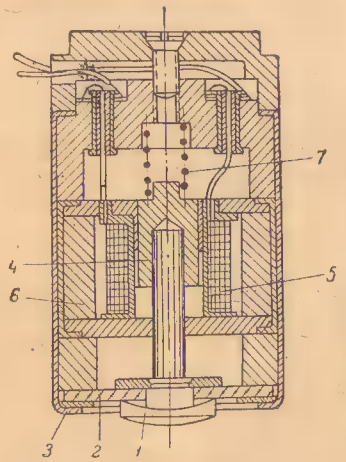


Рис. 73. Импульсный генератор.

Импульсный генератор (рис. 73) состоит из корпуса (3), в котором размещены кольцевой магнит и обмотка (5) (из медной проволоки диаметром ≈0,4 мм). Сердечник (4) навинчен на шток (1), который закреплен в резиновой шайбе (2). При выстреле стержень ударного механизма производит удар по головке штока (1), который двигается вместе с сердечником (4) в магнитном поле; при этом в витках катушки индуцируется электродвижущая сила, равная 2—3 вольтам. Пружина (7) помогает резиновой шайбе (2) возвращать сердечник в исходное положение.

Для модернизированного РПР „Панцершрек" описанный выше реактивный снаряд остался без изменений.

Для модернизированного реактивного ПТР-54/1 была изменена конструкция подводки к электрозапалам. В описанном образце снаряда производимое стреляющим присоединение проводника электрозапала к вилке, находящейся на ружье, занимает много времени и сильно снижает скорострельность. В новом образце было введено контактное кольцо на стабилизаторе, по типу контактных колец на американских снарядах Т-37 или Т-21.

Боекомплект к каждому противотанковому ружью состоит из 10 снарядов.

При стрельбе из ружья для предохранения от ожогов, стреляющий должен быть в противогазе (без фильтра), капюшоне и в перчатках.

88-мм противотанковое ружье (рис. 73) состоит из ствола (1), изготовленного в виде тонкостенной трубы, и ряда приспособлений,

закрепленных на стволе. К ним относятся: прицел-дальномер, состоящий из мушки (2) и рамки (3), штепсельная коробка (8), рукоятка (4) для держания ружья при стрельбе, рукоятка (10) для взведения с защелкой предохранителя (11), рукоятка (15) со спусковым механизмом, контактный стержень (5), импульсный генератор (6), плечевой упор (14), наплечник (13), проводник (12) и пружинная защелка (7) для удержания мины в стволе перед выстрелом. Ружье обслуживают стреляющий и заряжающий. Перед вы-

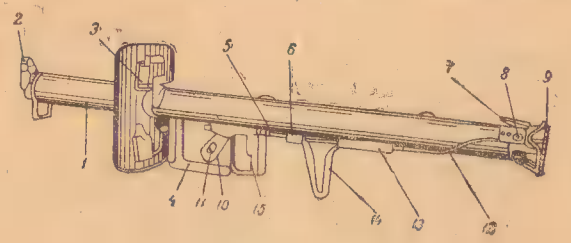


Рис. 74. РПР „Оффенрор".

стрелом стреляющий нажимает на рукоятку (10), при этом контактный стержень (5) перемещается в переднее крайнее положение и электрическая цепь оказывается разомкнутой. Заряжающий удаляет чеку из взрывателя, срывает клейкую тканевую ленту с ободка стабилизатора, прижимает пружинную защелку (7) и затем с легким нажимом вставляет мину в ствол до фиксатора. После отпуска пружинной защелки, лапка которой должна находиться за ободком хвостового оперения, мина не может выпасть из ствола. Затем вставляют вилку в штепсельную коробку (8).

Для производства выстрела стреляющий нажимает на защелку предохранителя, что позволяет рукоятке (10) занять первоначальное положение и тем самым переводит ружье на боевой взвод. Затем, после прицеливания стреляющий медленно нажимает на спусковой механизм рукоятки (15). Это освобождает стержень (5), который под действием сжатой боевой пружины быстро перемещается к импульсному генератору (6), в результате чего происходит замыкание цепи и воспламенение электрозапала в мине.

Для предохранения трубы-ствола от загрязнения и повреждения, а также для облегчения заряжания мины служит каркас (9).

2. Активно-реактивный гранатомет «Пупхен»

В 1943 году на вооружении бывшей германской армии появился 88-мм активно-реактивный гранатомет «Пупхен», в котором пороховые газы, вытекающие из сопла, попадают в закрытое сзади заснарядное пространство и своим давлением помогают выталкиванию снаряда из ствола.

Боевая часть реактивного снаряда «Пупхен» (рис. 75) никаких особенностей в сравнении со снарядом «Оффенрор» не имеет, поэтому мы ограничимся здесь кратким описанием его реактивного двигателя. В реактивной каморе, изготовленной из цельнотянутой трубы, помещается одна пороховая шашка дигликолевого пороха диаметром 22 мм, длиной 100 мм, весом 47 г, имеющая центральный канал диаметром 10 мм и 14 периферийных каналов диаметром

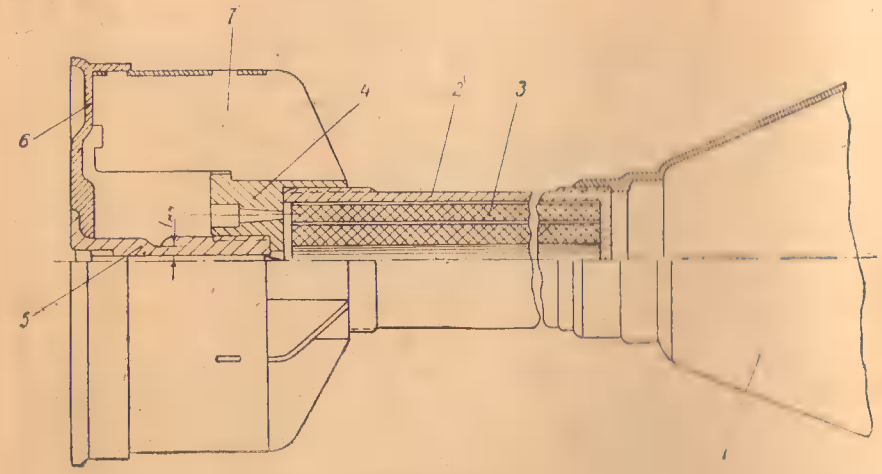


Рис. 75. Активно-реактивный снаряд „Пупхен".

1 мм. Капсюльная втулка помещена в хвостовой части снаряда. С задней стороны капсюльная втулка имеет шляпку, буртиком которой удерживается обтюрирующая тарель, запрапощая с задней стороны канал ствола. В средней части втулки сделана кольцевая проточка, ослабляющая втулку (толщина стенок в этом месте равна 1 мм). Снаряд вставляют с казенной части ствола до упора фланца тарели в срез ствола, после чего закрывается затвор. При выстреле ударник разбивает капсюль воспламенителя, зажигается пороховой заряд. Пороховые газы толкают снаряд, но он удерживается фланцем тарели в стволе до того момента, пока давление в канале ствола не поднимется настолько, что произойдет разрыв корпуса капсюльной втулки по шейке. Миномет «Пупхен» предназначен для борьбы с легкими и тяжелыми танками. Стрельба может вестись либо с колес (рис. 76), либо с полозков. Миномет весит 152 кг и при необходимости может быть разобран на 6 составных частей. Миномет не имеет подъемного и поворотного механизмов. Вертикальная наводка осуществляется качанием ствола на цапфах,

а горизонтальная — поворотом вращающейся части на нижнем станке.

Расчет орудия состоит из командира и трех номеров. Противотанковая система «Пупхен» может быть применена для стрельбы из любого закрытого помещения, так как вследствие того, что ствол сзади закрыт, пороховые газы вырываются вперед. Это же обстоятельство позволяет находиться при прицеливании позади

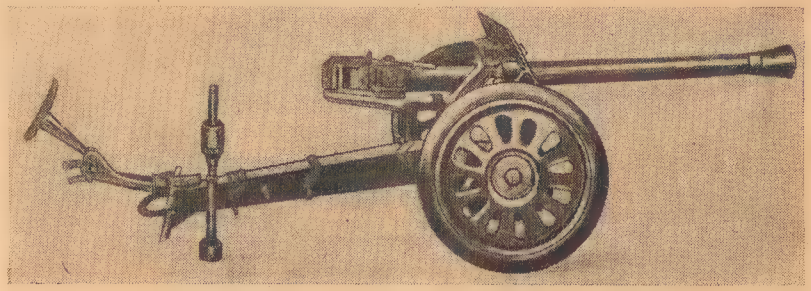


Рис. 76. Миномет „Пупхен".

гранатомета, что повышает скорострельность. Эти достоинства гранатомета, однако, не искупают его основного недостатка — большого веса, так что в немецкой армии преимущество всегда отдавалось противотанковому ружью Оффенрор.

3. Противотанковый реактивный снаряд «Хехт»

Изображенный на рис. 77 противотанковый реактивный снаряд «Хехт» предназначен для борьбы со сверхтяжелыми танками на малых дистанциях и представляет интерес, как противотанковая система для пробивания брони толщиной до 250 мм.

Боевая часть с кумулятивным зарядом имеет диаметр около 250 мм. К головной части прикрепляется цилиндрическая трубка диаметром 100 мм для направления снаряда в трубе. На реактивной каморе крепится шестиперое оперение со скрепляющим кольцом. Реактивная камора конструктивно, за исключением размеров, ничем не отличается от каморы снаряда «Панцершрек».

Заряд состоит из 3 шашек дигликолевого пороха следующих размеров: длина $l = 350$ мм, внешний диаметр $D = 22$ мм, диаметр центрального канала $d_1 = 10$ мм, диаметр 14 каналов по периферии $d_2 = 1$ мм. Максимальное давление в каморе 600—700 кг/см^2, время горения 0,8 сек.

Основные характеристики снаряда:

Калибр по оперению	105 мм
Калибр по кумулятивной головке	250 мм
Общая длина	840 мм
Вес ВВ	6 кг

Вес порохового заряда . . . . . 0,6 кг
Дистанция стрельбы . . . . . 30÷50 м

Были произведены опытные отстрелы 5 снарядов, причем стабилизация снарядов на полете была хорошая. Дальнейшая разработка снаряда была прекращена из-за окончания войны.

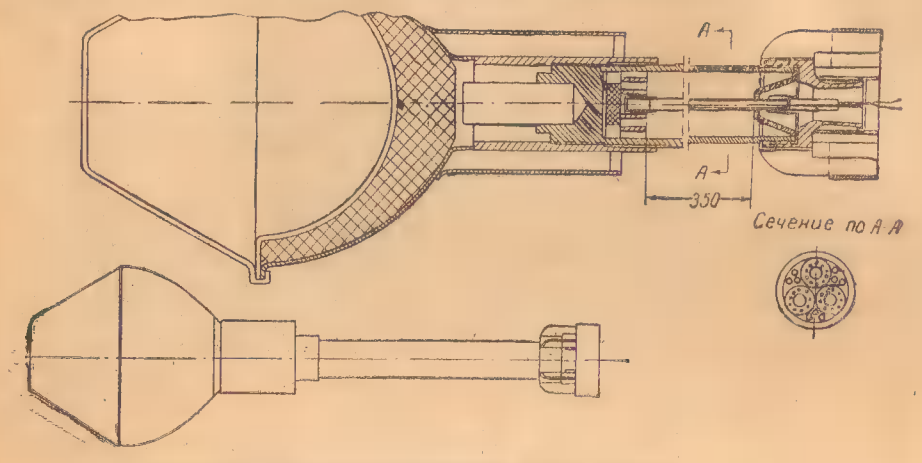


Рис. 77. Противотанковый снаряд „Хехт".

4. Фаустпатрон

Стремление немцев усилить противотанковую оборону своей пехоты особенно заметно выявилось в начале 1943 года. Если в момент нападения на СССР немецкие пехотные части были вооружены известными нам противотанковыми ружьями образца 1939 г. (P.Z.B. 39 г.), то в 1942 году для этой цели части стали снабжаться ручными и ружейными гранатами кумулятивного действия. Однако повышение мощности этих гранат было неразрывно связано с увеличением веса разрывного заряда и всей гранаты в целом, что становилось в противоречие при использовании этих гранат как ручных, так и ружейных.

Усиление брони советских танков вынудило немцев разработать новые средства кумулятивного действия, которые были бы достаточно мощными и вместе с тем удобными для применения пехотой.

Наряду с разработкой реактивных противотанковых ружей германской промышленности, в частности фирме «Хасаг», было дано задание в 1942 году изготовить образцы кумулятивных гранат, метание которых должно производиться, используя принцип динамореактивных систем.

В начале 1943 года появился первый образец такого вооружения под названием «Гретхен», обладавший очень незначительной дальностью и небольшим могуществом.

Осенью 1943 года в немецких частях появился новый образец этого вида вооружения под названием «Панцерфауст 30». Данные этого образца следующие:

Дальность прямого выстрела . . . . . 30 м
Максимальная скорость . . . . . 27 м/сек.

Снаряд выстреливался из открытой трубы диаметром 25 мм с толщиной стенки — 2 мм .

Навеска дымного ружейного пороха весом 95 г при сгорании развивала в трубе давление 240 кг/см².

При дальнейшем увеличении пороховой навески до 140 г давление в каморе возросло до 350 кг/см² и дальность снаряда была увеличена до 60 м («Панцерфауст-60»), которую, конечно, нельзя признать достаточной. Кривая давления, получающаяся при сгорании заряда, изображена на рис. 78 (кривая *а*).

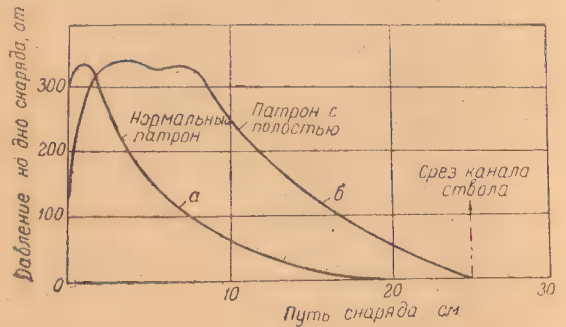


Рис. 78. Кривая давления для фаустпатрона.

Для дальнейшего увеличения дальности необходимо было увеличивать навеску пороха; это приводило к утолщению стенки трубы и утяжелению ее веса, что сильно снижало бы маневренность этого вида вооружения.

Доктор Лаух предложил и экспериментально подтвердил, что если навеску пороха разделить на две части и разъединить их воздушным промежутком, то воспламенение зарядов будет последовательным и суммарная кривая давления (рис. 78) (кривая *б*) получится более благоприятной, так как максимальное давление при этом не будет увеличено, а полный импульс увеличится благодаря увеличению времени действия пороховых газов на снаряд. Подобного рода изменение порохового заряда увеличило дальность до 100 м («Панцерфауст-100»).

Логически было бы продолжить эту мысль, разделив пороховой заряд не на две, а на три части. Однако эксперименты по снятию кривой давления для порохового заряда, разделенного на три части, дали отрицательный результат, так как при этом получалось увеличение давления.

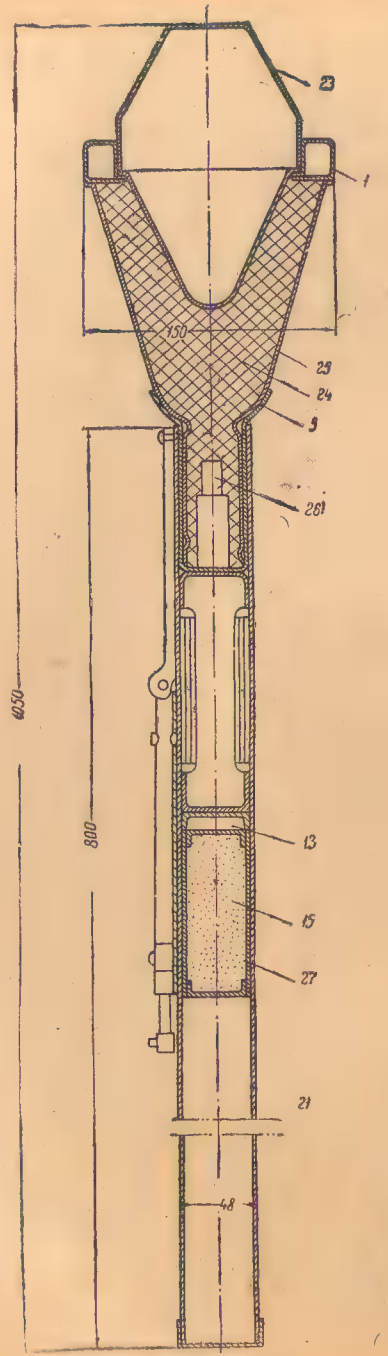


Рис. 79. Фаустпатрон Р-100.

В начале 1945 года немцами был разработан «Панцерфауст-150» с дальностью 150 м. Такая дальность была получена уменьшением веса гранаты с 3,6 до 2,3 кг. Однако бронепробиваемость этого образца не уменьшилась, так как была изменена конструкция кумулятивного заряда. Вместо конической кумулятивной выемки была применена сферическая; разрывной заряд был разделен на основной и вспомогательный; роль последнего — усиливать действие основного заряда.

На рис. 79 изображен фаустпатрон «Р-100», состоящий из следующих элементов: оболочки, разрывного заряда, детонирующего устройства, взрывателя и хвостовой части с оперением.

Оболочка мины составная. Штампованные детали ее — головка (23), ободок (1), кольцо (2), корпус (25) и трубка (5), изготовлены из листовой мягкой стали. Все они, за исключением колпака, прочно скреплены между собой закаткой или точечной сваркой. Кумулятивная воронка, изготовленная отливкой из сплава, содержащего: цинка — 92,2%, алюминия — 7,35%, меди — 0,45%; толщина стенок воронки равна 2,7 мм. Разрывной заряд (24) изготовлен из сплава тротила и гексогена в отношении 1 : 1. Технологический процесс наполнения оболочки взрывчатым веществом такой же, как в реактивном снаряде «Оффенрор».

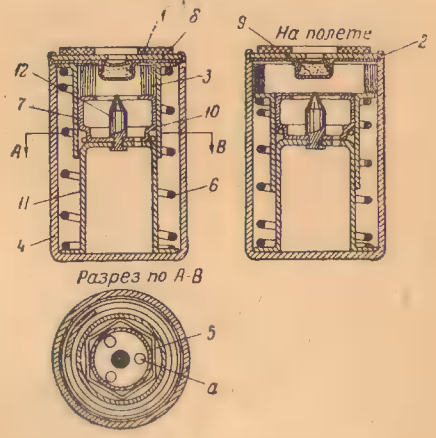


Рис. 80. Взрыватель фаустпатрона.

Детонирующее устройство (26), закрепляемое в гнезде кольцевой картонной прокладкой, находящейся на торце взрывателя, состоит из капсюля-детонатора, бумажного кружка, прикрывающего чашечку капсюля-детонатора и металлического кружка с отверстием в центре для прохода луча огня. Все эти детали прочно закреплены в алюминиевой оболочке, бортики которой закатываются на расположенный сверху металлический кружок. Вес детонатора, изготовленного из флегматизированного тэна в виде шашки, равен 7 г и составляет лишь 0,25% веса разрывного заряда.

Донный взрыватель (рис. 80), которым снабжена мина, по устройству относится к взрывателям непредохранительного типа. Он состоит из следующих деталей: оболочки (4), инерционного ударника (7) с жалом (12) и втулочкой (11); цилиндра (10); пружины (6); ленточной пружины (3); шестигранного разрезного колечка (5); капсюля-воспламенителя (9), помещенного в гнезде

диафрагмы (2); шайбы (8) и картонной кольцевой прокладки (1), закрепленной клеем.

Все металлические детали взрывателя, за исключением пружины, разрезного колечка и жала, изготовлены штамповкой из листовой мягкой стали. Две из них — инерционный ударник и втулочка — наглухо скреплены основанием жала.

Безопасность взрывателя в обращении обеспечивается тем, что сближению жала и капсюля-воспламенителя препятствует свернутая ленточная пружина.

При выстреле цилиндр, преодолевая сопротивление пружины и трения в местах соприкосновения с углами разрезного колечка, по инерции оседает вниз. Как только он сравняется со втулочкой, свернутая ленточная пружина быстро разворачивается и прижимается к стенкам оболочки взрывателя. При таком ее положении невозможен подъем цилиндра вверх под действием сжатой пружины. Перемещению инерционного ударника с жалом вперед (от набегания) к капсюлю-воспламенителю препятствует разрезное колечко.

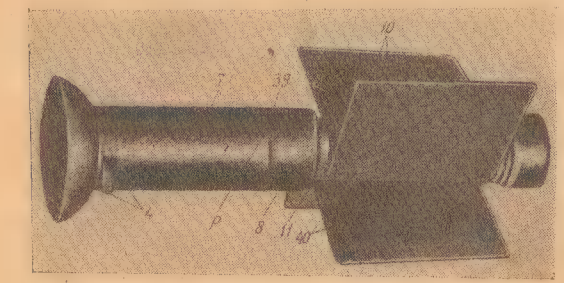


Рис. 81. Хвост фаустпатрона.

При встрече с преградой ударник с жалом, преодолевая трение углов разрезного колечка о внутренние ее стенки и сопротивление сжатой пружины, по инерции перемещается вперед и накалывает жалом капсюль-воспламенитель. Возникший в результате накола луч огня проникает через отверстие в шайбе к капсюлю-детонатору. Для того, чтобы воздух, находившийся впереди втулки, не препятствовал перемещению ударника при встрече с преградой, в перемычке сделаны три отверстия.

Хвостовая часть мины (рис. 81) состоит из стакана (7), деревянного стержня (11), с утолщениями на концах, двух наконечников (8), четырех стабилизирующих плоскостей (перьев) (10) и кольца (39). Стакан и наконечник отштампованы из листовой мягкой стали, перья — из тонкой, очень упругой стали. Открытый конец стакана имеет выгнутые борты в виде чашки, усиливающие донную часть оболочки мины. На боковой поверхности стакана вверху приварены ушки (4) для закрепления прицельной рамки.

Стакан скреплен с верхним наконечником деревянного стержня точечной сваркой. Для избежания смещения или перекоса наконечника при сварке и усиления крепления стакана и наконечника перед сваркой между ними помещают кольцо (39). Таким образом,

сварка должна предшествовать закатке наконечника на деревянном стержне.

Каждое стальное перо закреплено на деревянном стержне двумя заклепками (40). До выстрела перья находятся внутри ствола—приспособления для стрельбы в свернутом вокруг деревянного стержня виде. При выстреле, как только мина и хвостовая часть ее выйдут из ствола, перья быстро выпрямляются.

Рис. 82. Труба для выпуска фаустпатронов.

Изготовление хвостовой части с оперением в виде отдельного элемента вызвано трудностью помещения ее со свернутыми перьями в ствол приспособления для метания.

Приспособление для метания (рис. 79 и 82) состоит из цельнотянутой стальной трубы ствола (21) диаметром 44 мм и длиною 800 мм, внутри которой помещены эластичная прокладка (13) и пороховой заряд (15) в картонном футляре (27); снаружи сваркой прикреплен механизм для производства выстрела с прицельной рамкой (9).

Эластичная прокладка, изготовленная из пластмассы, служит для смягчения толчка при выстреле и вместе с тем для обтюрации пороховых газов. Метательный заряд (рис. 83) состоит из дымного ружейного пороха. Картонный футляр, в котором он помещается, имеет квадратный вырез, наглухо прикрытый тонкой бумагой на клее, через который попадает луч пламени от КВ. Для закрепления футляра в положении, при котором квадратный вырез приходится против запального отверстия в стволе, служит винт.

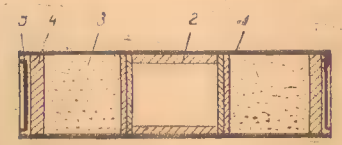


Рис. 83. Заряд фаустпатрона.

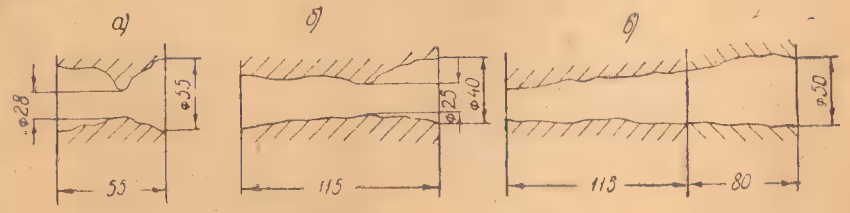


Рис. 84. Пробоины фаустапатрона.

Приведем некоторые данные по пробивной способности фаустпатронов.

При попадании в вертикальную кирпичную или каменную стену, в ней образуется пролом глубиной до 0,5—0,6 м.

Результаты испытания мин по броне приведены на рис. 84 (а, б, в). Из них видно, что во всех случаях были получены сквозные пробоины.

Некоторый интерес представляет использование трофейных фаустпатронов частями 2-го Белорусского фронта для ведения не только одиночного огня, но и для залпа при разрушении инженерных сооружений и узлов сопротивления, для чего была устроена специальная установка.

5. «Быстрогорящая мина» фирмы «Рейнметалл Борзиг»

Изображенная на рис. 85 «быстрогорящая мина» фирмы «Рейнметалл Борзиг» калибра 75 мм испытывалась немцами с 1940 по

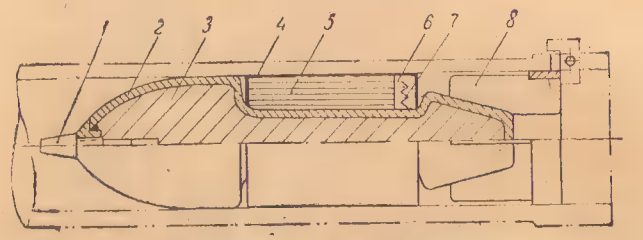


Рис. 85. 75-мм быстрогорящая мина.

1943 год. Хотя этот снаряд и не использовался для стрельбы по танкам, принципиально он отвечает требованиям, предъявляемым к противотанковым снарядам. Основная цель этого снаряда — достигнуть большой меткости. По заявлению фирмы, были достигнуты хорошие результаты при стрельбе на дистанции 800 м по щиту 2 × 2 м. Для достижения такой кучности применен тонкосводный рулонный пороховой заряд (ребристая пороховая лента толщиной 0,5 мм), который полностью сгорает в направляющей трубе в течение 0,02 сек.

Реактивной каморы в этом снаряде нет; во время выстрела ее заменяет пусковая труба с толщиной стенки 5 мм. Поверх порохового заряда расположен целлулоидный кожух, защищающий пороховой заряд от разрушения и проникновения сырости в служебном обращении и при транспортировке. При сгорании порохового заряда сгорает и целлулоидный кожух и к цели летит только боевая часть. Форма и размеры донной части снаряда рассчитаны таким образом, что образуется критическое сечение и подобие сопла Лаваля. Хвостовое оперение выполнено в виде нескольких лопастей, к которым приварено кольцо.

Основные данные снаряда: калибр — 75 мм; полная длина — 450 мм; общий вес — 3,1 кг; вес ВВ — 0,85 кг; вес порохового заряда — 0,5 кг; максимальная скорость — 350 м/сек.

Повидимому главным недостатком подобной схемы является то, что мощная струя раскаленных пороховых газов будет проходить через оперение, размывать его, сжигать лопасти, и под давлением газов стабилизирующее кольцо будет распираться и заклиниваться в направляющей трубе. Кроме того, пусковая труба, нагруженная определенным давлением, должна быть достаточно толстой.

В. ЗЕНИТНАЯ РЕАКТИВНАЯ АРТИЛЛЕРИЯ

§ 15. КРАТКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ЗЕНИТНОЙ РЕАКТИВНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Тенденции развития зенитной артиллерии вообще и реактивной зенитной артиллерии в частности зависит, в первую очередь, от развития современной авиации. Поэтому надежное обоснование тактико-технических требований к зенитной реактивной артиллерии должно быть увязано, в первую очередь, с последними достижениями в области развития авиации.

Опыт второй мировой войны показывает непрерывно возрастающий рост действий авиации по военно-промышленным объектам, находящимся в глубоком тылу противника. Тоннаж бомб, сброшенных над странами «оси» в Европе англоамериканской авиацией в 1944 году, составлял 1 201 500 тонн и превышал тоннаж 1941 года почти в 35 раз и предыдущего, 1943 года — почти в 6 раз.

Одновременно следует отметить чрезвычайно массированное применение авиации; так, например:

1) на 17 промышленных объектов Германии английская авиация сбросила 38% всех сброшенных за время войны бомб;

2) на объекты нефтяной промышленности в 1945 году было сброшено 26,2% всех бомб;

3) на стартовые площади реактивных снарядов V-1 и V-2 было сброшено 13% всех бомб (с августа по сентябрь 1944 года).

Все эти данные говорят о том, что в различные периоды войны в зависимости от общих задач, стоящих перед Главным командованием, стратегическая бомбардировочная авиация наносит свои удары по немногому числу объектов, концентрируя на них всю свою мощь. Развитие авиационной техники за время второй мировой войны обеспечило дальнейшее повышение всех основных боевых качеств самолетов и в первую очередь скорости максимального потолка, боевой нагрузки и пушечного вооружения.

В табл. 10 приведены важнейшие характеристики англо-американской авиации к концу второй мировой войны [1].

Дальнейшее развитие воздушных и жидкостных реактивных двигателей позволяет ожидать в недалеком будущем повышения скорости до 1 200—1 300 км/час.

[1] Данные взяты из работы Сафронова — Боевые самолеты Англии и США.

Таблица 10

Род самолета	Максимальная скорость, км/час	Потолок, м	Бомбовая нагрузка, т	Пулеметы (колич. × калибр)	Пушки (колич. × калибр)
Боинг Б-29 (летающая сверхкрепость—США)	580	10700	5,4	10×12,7	1×20
Дуглас ХБ-42 (бомбардировщик—США)	690	13000	4,0	6×12,7	—
Рипаблик П-84 (истребитель—США)	960	13700	—	4×12,7	—
Авро „Линкольн" (бомбардировщик—Англия)	500	11000	10,2	7×12,7	—
Глостер „Метеор" (истребитель—Англия)	940	15000	0,91	—	4×20

Одновременно с повышением скоростей сильно возросла живучесть современных самолетов за счет усиления бронирования мест экипажа и жизненно важных элементов самолета, протектированием бензобаков, наполнением их и отсеков, в которых они располагаются, нейтральным газом, не содержащим кислорода.

Табл. 11 характеризует защиту экипажа и бензобаков у современных самолетов.

Таблица 11

Марка самолетов	Толщина брони	Предельный калибр пуль и снарядов в мм, безопасный для	
		экипажа	бензобаков
Дуглас А-208	4—12	12,7—20	12,7
Норт-Американ В-25-ДН	9—10	12,7—20	12,7
Б-29	5—12,7	12,7—20	12,7
EW-200	7,5—12	12,7—20	12,7

Опыты показывают, что для поражения жизненных частей самолета, защищенных 10—12-мм броней, требуются осколки весом 75—100 г, обладающие скоростью полета 700—800 м/сек.

Проведенные опыты на пробиваемость брони осколками 85-мм гранаты показали, что при толщине брони свыше 8—10 мм действие осколков 85-мм гранаты мало эффективно (не более 10—15% убойных поражений). В то же время эффективность действия 25-, 37- и 57-мм осколочных снарядов с ударным взрывателем мгновенного действия по бронированным частям самолета с толщиной брони до

12 мм достаточно высокая. Прямое попадание 57-мм снаряда почти в любую часть самолета приводит к его разрушению или немедленной посадке, а прямое попадание 25- и 37-мм снаряда в большинстве случаев — к прекращению выполнения задания.

Поэтому в ряде случаев необходимо отказаться от дистанционной стрельбы осколочной гранатой и переходить к стрельбе либо ударной, либо к стрельбе снарядами с осколочно-зажигательными элементами. В то же время некоторые исследовательские работы [1] показывают, что действительность ударной стрельбы во многих случаях может превышать действительность дистанционной стрельбы, в особенности при стрельбе по большим бомбардировщикам.

Следует отметить, что современные средства ПВО зенитной артиллерии недостаточно эффективно решают поставленные перед ними задачи.

На вооружении ПВО армий Англии, Германии, США имелись орудия калибра 90—150 мм с начальной скоростью 800—1 000 м/сек и досягаемостью по высоте 9—15 км. Так как одним из существенных средств повышения эффективности действия зенитного огня является увеличение его плотности, то желательно применение многоствольных зенитных установок. Однако практическое применение получили только спаренные зенитные орудия калибром до 120 мм.

Все вышесказанное позволяет утверждать, что зенитная артиллерия переживает некоторый кризис и ее достижения недостаточны в сравнении с достижениями авиации.

В своей работе «Обоснование тактико-технических требований к системе зенитного огня» доктор технических наук генерал-майор артиллерии Алексеев пишет: «Учитывая развитие современной авиации, рост скоростей и потолков, усиление прочности конструкций самолетов, полеты в условиях невидимости, массированных налетов групп бомбардировщиков, необходимо притти к выводу, что современное состояние зенитной артиллерийской техники и вытекающие отсюда способы стрельбы не удовлетворяют требованиям ПВО».

Указанное положение также подтверждается соотношением количества немецких самолетов, сбитых на советско-германском фронте зенитной артиллерией и истребительной авиацией (по данным кафедры конструкций и прочности самолетов ВВИА им. Жуковского).

Возможность эффективной борьбы с современной авиацией требует от зенитной артиллерии не только значительного увеличения досягаемости и усиления действия отдельного снаряда, но и значительного увеличения начальной скорости (значительно большей 1 000 м/сек), что подтверждается самыми элементарными расчета-

[1] Дмитриев, Сравнительная оценка действительности стрельбы подкалиберными снарядами ударного и дистанционного действия.

Год	Количество сбитых самолетов в %			Количество поврежденных самолетов в %	
	зенитная артиллерия	истребительная авиация	бомбардировочная авиация	зенитная артиллерия	истребительная авиация
1943	15,3	84,7	—	34,2	65,8
1944	20,4	76,5	3,1	51,7	48,3
1945	31,2	68,8	—	66,2	33,8

ми. Например, считая, что самолет в настоящее время способен развить скорость полета до 1000 км/час (277 м/сек), а время полета снаряда, определяющее дистанционную досягаемость, превышает 30 сек, очевидно, что за это время самолет сможет пройти путь

$$S = V \cdot t = 277.30 = 8310 \text{ м}.$$

Следовательно, 8 310 м должны быть учтены при решении задачи о точке встречи снаряда с целью, как линейное упреждение.

Таким образом, самолет на протяжении этого расстояния может менять режим своего полета и задача встречи снаряда с целью не сможет быть решена эффективно.

Итак, вследствие того, что решение двух основных задач — повышение начальной скорости и создание плотного массированного огня — в рамках ствольной зенитной артиллерии разрешить трудно, следует искать новые пути, используя реактивный принцип для создания зенитной реактивной артиллерии.

Можно отметить, что в некоторых странах (например Англия) реактивная артиллерия была применена, в первую очередь, для целей противовоздушной обороны. Первоначально были разработаны два типа зенитных реактивных 2-дюймовых (50,8-мм) и 3-дюймовых (76-мм) снарядов. К началу войны эти снаряды прошли всесторонние испытания, причем конструкция их была несколько изменена. Было решено применять фотоэлектрический взрыватель, но потом оказалось, что он дает неудовлетворительные результаты в тумане, темноте, сумерках. К концу войны в этих снарядах стали применять радиовзрыватель. В 1940 г., закончив, в основном, разработку реактивных снарядов, англичане приступили к проектированию зенитных установок к реактивным снарядам для обороны наземных объектов и самообороны морских судов. Для флота, учитывая ограниченность площади, проектировали многоствольную установку, а для наземных объектов — вначале одноствольную, а затем двуствольную, так как англичане считали, что для лучшего поражения воздушных целей нужно иметь много одноствольных, либо двуствольных установок, расположенных в нескольких местах.

В 1940 г. была сформирована первая опытная батарея в составе 64 реактивных установок, а к декабрю 1942 года действовало уже до 100 батарей того же состава.

Для стрельбы из реактивных зенитных установок применялись два типа снарядов: осколочный и специальный, для постановки воздушно-минных заграждений.

Крупные неудачи немцев на советско-германском фронте, провал надежды на молниеносную войну, приближение военных действий к границам Германии, потеря господства в воздухе — все это заставило немцев и в области реактивного вооружения перейти от наступления к обороне. Начиная с 1943 г., немцы уделяли много внимания средствам противовоздушной обороны и, в частности, реактивной зенитной артиллерии. В первое время разрабатывались, в основном, мощные управляемые реактивные снаряды типа «Рейнтохтер», «Шметерлинг» и др. Эти реактивные снаряды предназначались для борьбы с отдельными самолетами-бомбардировщиками.

В дальнейшем изменение характера воздушной войны и массовые налеты бомбардировщиков вызвали необходимость в неуправляемых реактивных снарядах упрощенной конструкции, дешевых в массовом производстве. К числу таких снарядов можно отнести снаряды «Фэн», «Тайфун», «Торнадо» и некоторые другие.

В основу разработки большинства этих реактивных снарядов положен следующий принцип: реактивные снаряды предназначаются для поражения вражеских бомбардировщиков, летящих на большой высоте, большим количеством снарядов, выпускаемых с земли за очень короткое время и обладающих максимальной скоростью полета не менее 1 000 м/сек, и досягаемостью 12—15 км.

При всех способах зенитной стрельбы расход боеприпасов велик и составляет примерно около 1 000 выстрелов на каждый сбитый самолет. Эффективная борьба с соединениями бомбардировщиков требует послать на цель достаточное количество снарядов, что трудно осуществить зенитной ствольной артиллерией.

Поражение самолетов бомбардировочного соединения управляемыми реактивными снарядами в условиях массированных налетов также затруднено. О степени массированности налетов бомбардировочной авиации говорит тот факт, что, согласно заявлению командующего бомбардировочной авиацией Великобритании, англичанам к концу войны удавалось пропускать над германскими объектами до 20 самолетов в минуту, т. е. около 1 000 самолетов в час. Ясно, что в таких условиях применение управляемых реактивных снарядов, из которых каждый в раздельности должен стартовать и управляться, затруднено. Отсюда следует сделать вывод, что для отражения массированных налетов должны применяться большие количества неуправляемых зенитных снарядов, а управляемые реактивные зенитные снаряды должны применяться для поражения одиночных самолетов-бомбардировщиков, летящих на большой высоте.

Расчеты показывают, что даже при наличии таких простых конструкций неуправляемых зенитных снарядов, как «Тайфун», трудно обеспечить необходимую плотность огня, поэтому в Германии в 1944 году была начата разработка конструкций неуправляемых зенитных реактивных снарядов-маток с отделяющимися боевыми снарядами для прямого поражения самолетов.

Возможность и целесообразность использования различных средств борьбы с самолетами зависит от ряда факторов и, в первую очередь, от количества боеприпасов, которое необходимо израсходовать для поражения одного самолета. В каждом случае необходимо также учитывать возможности тактического использования, расход пороха, трудоемкость изготовления выстрелов, количество обслуживающего персонала и площадь, необходимую для размещения наземных устройств.

Сравнивая количества зенитных артиллерийских и реактивных снарядов, необходимых для поражения самолета, можно установить следующее:

1. При стрельбе по одиночным самолетам расход артиллерийских снарядов на каждый сбитый самолет ниже реактивных той же самой баллистической мощности. Очевидно, что это объясняется бо́льшим рассеиванием реактивных снарядов; при стрельбе по группе самолетов расход артиллерийских снарядов может оказаться бо́льшим, чем расход реактивных снарядов.

2. Затраты на изготовление одного артиллерийского снаряда несколько меньше, чем одного реактивного снаряда.

3. Потребная площадь для реактивных установок и штаты их обслуживания меньше, чем при стрельбе из зенитных орудий.

4. При стрельбе реактивными снарядами может быть выполнено тактическое требование массового применения средств защиты в короткое время.

В некоторых работах [1] при рассмотрении вероятности поражения самолетов управляемыми и неуправляемыми снарядами, а также стоимости изготовления снарядов и стартовых установок для них, приходят к выводу, что по одиночным самолетам эффективнее и экономичнее вести стрельбу управляемыми реактивными снарядами. Если же необходимо отразить нападение 15—20 самолетов, то выгодно стрелять неуправляемыми снарядами.

Естественно, что массовое применение зенитных неуправляемых реактивных снарядов делает почти невозможным дистанционную стрельбу при современных конструкциях трубок и взрывателей. Это обстоятельство и нечувствительность современных конструкций самолетов к осколочному действию снарядов зенитных орудий, а также постоянно увеличивающиеся в последние годы размеры бомбардировщиков вызывают необходимость стрельбы с ударным взрывателем.

[1] Научно-технический бюллетень МСХМ, 1946 г., № 4.

Ряд работ, посвященных вероятности поражения самолета снарядами с ударным взрывателем, отмечают, помимо повышения вероятности разрушения самолета, еще и следующие достоинства ударной стрельбы:

1. Вероятность попадания снарядов с ударным взрывателем не зависит от скорости движения цели в направлении траектории, причем эшелонирование соединений самолетов в направлении траектории делает стрельбу такого рода чрезвычайно эффективной.

2. При стрельбе с ударными взрывателями вблизи цели не появляется никаких точек разрыва, которые указывали бы противнику расположение оборонительного огня и этим облегчали бы ему отход. Только для проверки места попадания можно было бы рекомендовать иногда стрельбу с механическим дистанционным взрывателем.

3. Боевая часть снарядов с ударным взрывателем, обычно фугасного действия, может изготовляться с очень тонкими стенками, чем повышается действие снаряда у цели и уменьшается угроза для населения от падающих осколков.

4 Стрельба с ударным взрывателем дает возможность, благодаря отсутствию необходимости установки взрывателя, уменьшить личный состав.

5. Стоимость изготовления ударного взрывателя, снабженного простым самоликвидатором снаряда, значительно меньше стоимости механического дистанционного взрывателя.

Таблица 12

	Неуправляемые снаряды					Управляемые снаряды	
	Люфтфауст	ФЭН	Тайфун	Торнадо	Рейнкинд (проект)	Рейнтохтер *R*—1	Рейнтохтер *R*—3Р
Калибр, мм	20	73	100	100	318/45	536	—
Полная длина, мм	255	270	2000	1685	2200	5760	—
Общий вес, кг	0,22	2,6	24,8	21,0	220	1500	—
Вес ВВ, кг	0,015	0,3	0,7	0,35	18x0,5	150	—
Вес заряда, кг	0,041	0,45	11,6	7,5	90	475	—
Максимальная скорость, м/сек	250	280	1150	1100	1000	420	—
Высота стрельбы, м	500	3600	13000	10000	10000	6000	12000
Установка	9-ств.	35-зарядная	30-зарядная		4-зарядная	однозарядная	
Стрельба по:	штурмовикам	разным самолетам	группам бомбардировщиков			одиночным самолетам	

Наибольшего развития зенитная реактивная артиллерия получила в Германии и затем в Англии.

Остановимся на описании немецких зенитных реактивных снарядов, так как эти снаряды более совершенны чем снаряды английские.

В табл. 12 приводятся основные тактико-технические данные пороховых реактивных зенитных снарядов бывшей немецкой армии.

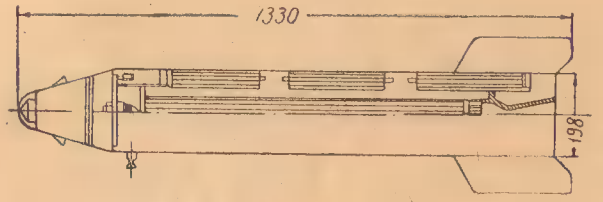


Рис. 86. Снаряд „Штопор-мина".

Помимо снарядов, указанных в табл. 12, немцы отрабатывали еще большое количество различных зенитных реактивных снарядов общего и специального назначения.

В Германии имелись следующие снаряды:

1) зенитный оперенный снаряд «Фейерверк» калибра 400 мм, длиной 3 000 мм, с общим весом 400 кг и максимальной скоростью 515 м/сек;

2) зенитный снаряд калибра 214 мм, общим весом 86 кг, наибольшей скоростью $V_{max} = 600$ м/сек, наибольшей высотой 9 200 м, снаряд турбореактивный;

3) зенитный снаряд воздушного заграждения, калибра 86 мм, наибольшей высотой 5 780 м;

4) зенитный снаряд воздушного заграждения калибра 150 мм, предназначаемый для постановки тросов над охраняемыми объектами.

Следует отметить, что немцы иногда разрабатывали снаряды, внешне, может быть, эффектные, но обладающие ничтожными боевыми свойствами. Таков, например, так называемый снаряд «штопор-мина», изображенный на рис. 86. Боевая часть этого снаряда никаких особенностей не имеет, но в реактивной части имеется основной пороховой реактивный двигатель, расположенный центрально и около него несколько вспомогательных реактивных двигателей, расположенных вокруг основного. До цели снаряд движется с помощью основного двигателя, а когда снаряд придет в район цели, то постепенно один за другим начинают срабатывать дополнительные двигатели и, вследствие приложения эксцентричной

силы, снаряд летит по кривой, блуждая в районе цели. Партия таких снарядов была изготовлена чехословацкой фирмой «Зброевка». Однако вполне очевидно, что при стрельбе такими снарядами попадание в самолет — явление случайное, и боевое применение таких снарядов является бессмысленной тратой материальных средств.

§ 16. НЕУПРАВЛЯЕМЫЕ ЗЕНИТНЫЕ РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ БЫВШЕЙ НЕМЕЦКОЙ АРМИИ

1. Снаряд «Люфтфауст» (воздушный кулак)

Сильно возросшие в последние годы второй мировой войны масштабы применения штурмовой авиации против наземных войск заставили верховное командование немецкой армии изыскивать новые средства для отражения налетов штурмовой авиации непосредственно пехотой. Мощность имевшихся пулеметов и мелкокалиберных зенитных пушек из-за повышения защитной брони самолетов была явно недостаточной.

Рис. 87. Снаряд „Люфтфауст".

Поэтому возникла необходимость создания зенитного ружья для вооружения пехоты, сочетающего мощность МЗА и легкость, малые габариты и высокую маневренность пехотного оружия.

В начале 1945 года на вооружение немецкой армии было принято девятиствольное зенитное реактивное ружье и снаряд к нему, получившие название «Люфтфауст». Боевого применения это ружье не получило из-за капитуляции Германии.

Для стрельбы из ружья «Люфтфауст» применяются турбореактивные снаряды калибром 20 мм (рис. 87).

Для унификации боевой части 20-мм снаряда к зенитной автоматической пушке и реактивного снаряда «Люфтфауст» в них почти одинаковы: корпус, снаряжение, взрыватель.

Снаряд является осколочно-трассирующим и снабжен устройством для самоликвидации через трассу.

В корпус боевой части вставляют шашки из тена. Трассирующее устройство боевой части служит для передачи воспламенения от реактивного порохового заряда к самоликвидатору. Для снарядов применялся взрыватель мембранного типа марки AZ-50 мгновенного действия. Действие взрывателя возможно лишь при достижении снарядом нужного числа оборотов.

Пороховой реактивный двигатель состоит из каморы — цельнотянутой, изготовленной из качественной стали, трубки длиной 170 мм с внутренним диаметром 19,5 мм и стенками толщиной 0, 75 мм.

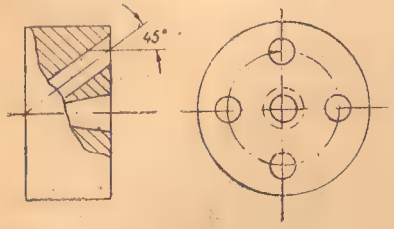


Рис. 88. Диафрагма снаряда „Люфтфауст".

После закатки одного конца трубки на боевую часть, внутрь ставят железную решетку, на которую ставят пороховую шашку размером 18,2/5 — 113 и общим весом 41 г. Сверху заряда вновь ставят решетку, на которую укладывают фарфоровую диафрагму (рис. 88). В центре ее имеется сопло, которое служит для передачи луча огня от электрозапала пороховому реактивному заряду. Для придания снаряду вращения в диафрагме имеются четыре отверстия диаметром 2,1 мм, расположенные под углом 45° к оси снаряда; угловая скорость снаряда 25 000 об/мин.

Такой большой угол наклона тангенциальных отверстий (45°, вместо общепринятых 12—15°) необходим потому, что длина снаряда равняется примерно 13 калибрам, в то время как обычно длина турбореактивных снарядов не превышает 6 — 7 калибров. Из-за большой длины снаряда, стабилизируемого вращением, снижается его кучность (Вб/Х ≈1/40).

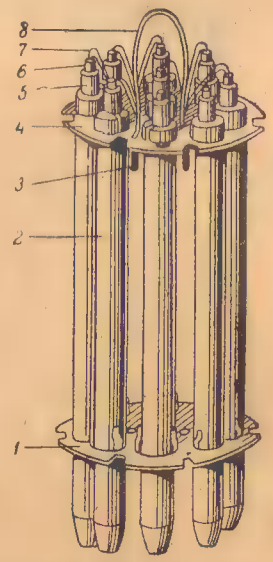


Рис. 89. Магазин „Люфтфауста".

Сверху диафрагмы ставится электрозапал, на который затем надевается и закатывается на корпус каморы железный колпачок. Для быстроты и удобства заряжания реактивные снаряды собирают по девять штук вместе в магазин (рис. 89). Собранные реактивные снаряды вставляют в отверстия верхней обоймы (4), которая специальными лапками охватывает колпачки электрозапалов. На колпачки затем надеваются бумажные втулки (5), которые и удерживают снаряды в верхней обойме. На обойме смонтированы два изолированных друг от друга контактных кольца, к которым от каждого электрозапала снаряда прикрепляется по одному проводнику (7). С нижней стороны обоймы выходят два медных штифта (3), присоединенные каждый к одному из колец и расположенные диаметрально противоположно друг другу. Для жесткости соединения реактивных снарядов на головную часть их надевается вторая обойма (1), которая захватывает каждый снаряд тремя пружинящими лапками.

К верхней обойме прикреплена дугообразная ручка (8) для захвата магазина при заряжании. Магазин окончательно готов для применения и не требует никакой дополнительной подготовки при заряжании.

Само ружье «Люфтфауст» (рис. 90) состоит из девяти цельнотянутых стальных трубок длиной 1 250 мм, наружным диаметром 24 мм. Трубки скреплены между собой четырьмя металлическими кольцами на точечной электросварке.

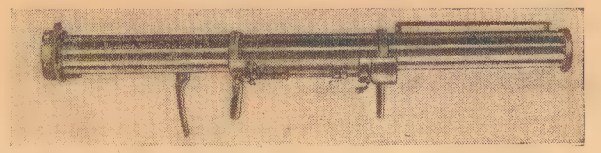


Рис. 90. Девятиствольное ружье „Люфтфауст".

К средним двум кольцам прикреплены две откидные рукоятки, которыми «Люфтфауст» удерживается при стрельбе. Между задними и средними кольцами прикреплен откидной рычаг, служащий для упора в плечо. У переднего среза на одной из трубок имеется откидное прицельное приспособление — визир с двумя мушками, расположенными на одной линии вдоль оси всего ружья. Между средними кольцами размещен спусковой и ударный механизмы с предохранительной защелкой, а также источник электроэнергии — импульсный генератор. Стрелок при наведении на цель должен совместить мушку визира с целью и дать упреждение на величину 4—6 корпусов самолета. Нажатием на спуск ударного механизма производится выстрел. При выстреле выбрасывается назад пламя длиной до 2 м, поэтому сзади никто не должен находиться на расстоянии ближе 3 м. Прицельная дальность стрельбы из «Люфтфауста» примерно 200 м, рассеивание ракет достигает 20% от дальности, т. е. все девять снарядов, вылетевших одновременно из «Люфтфауста» на дистанции 200 м, укладываются в круг диаметром 40 м. Таким образом, кучность снарядов, выстреленных из «Люфтфауста», невысокая, но, учитывая, что при отражении налетов штурмовой авиации или при стрельбе по низколетящим самолетам другого назначения нужно было применять одновременно несколько «Люфтфаустов», выпускающих каждый сразу по девять снарядов, вероятность поражения цели достаточно велика.

2. 73-мм снаряд ФЭН

73-мм зенитный реактивный снаряд ФЭН, изображенный на рис. 91, находился на вооружении бывшей немецкой армии. Он предназначался для залповой стрельбы по самолетам, летящим на сравнительно небольшой высоте.

Боевая часть снаряда с весом ВВ 0,3 кг снабжена взрывателем ударного действия, срабатывание которого вызывает осколочное действие снаряда у цели. Снаряд имеет, кроме того, самоликвидатор, срабатывающий на высоте 1 200 м.

Стабилизация снаряда достигается вращением.

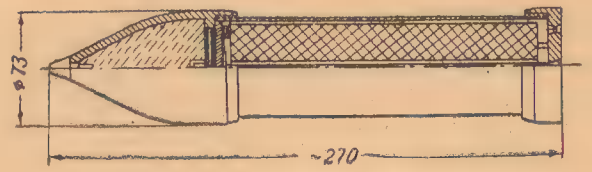


Рис. 91. 73-мм снаряд „ФЭН".

Длина снаряда сравнительно небольшая — около 4 калибров. Вес порохового заряда 0,45 кг. Время горения порохового заряда 0,3 сек. Максимальное давление в каморе 110 атм. Стрельба ведется из 35-зарядной установки ФЭН, представляющей собой пакет направляющих, установленных на специальном лафете.

Имелся второй вариант этого снаряда — с увеличенным пороховым двигателем и, следовательно, с большим потолком.

Как видно из табл. 12 и из описания, тактико-технические данные этого снаряда (максимальная скорость, высотобойность) чрезвычайно невелики и современным треоованиям ПВО не отвечают. Объясняется это тем, что снаряд ФЭН — турбореактивный, вследствие чего высота полета его ограничена. Для достижения больших высот необходимо иметь оперенные снаряды.

3. Снаряд «Тайфун»

Реактивный неуправляемый зенитный снаряд «Тайфун» (рис. 92) предназначался для залповой стрельбы (одновременно 30 выстрелов) по тяжелым самолетам на высоте 10—12 км; время полета 15 сек. (максимальная высота 15 км). Поражение самолета происходит при прямом попадании и срабатывании взрывателя ударного действия. Предусматривалось также наличие самоликвидатора, срабатывающего через 20 сек после выстреливания. Снаряд «Тайфун» разрабатывался в двух вариантах — с жидкостным и пороховым двигателями. В жидкостном варианте через реактивную камору снаряда проходила трубка с ВВ, назначение которой ликвидировать камору и баки для топлива, в то время как в пороховом варианте остается угроза поражения от падающей на землю каморы.

При проектировании реактивного снаряда «Тайфун» были приняты все меры для получения максимальной скорости. А именно, в качестве порохового реактивного заряда была выбрана одна

одноканальная шашка, дающая плотность заряжания 1,1 кг/дм³. (Это оказалось возможным и потому, что параметр заряжания $\varkappa$ принят на верхнем пределе $\approx$ 240). Затем было взято минимально возможное давление в каморе, был значительно облегчен вес боевой части, при изготовлении порохового двигателя применены сварка, закатка. Все это вместе взятое позволило получить отношение $\frac{q}{\omega} = 1{,}14$ и максимальную скорость порядка 1 200 м/сек. Эту скорость можно считать при современных составах пороха и однока-

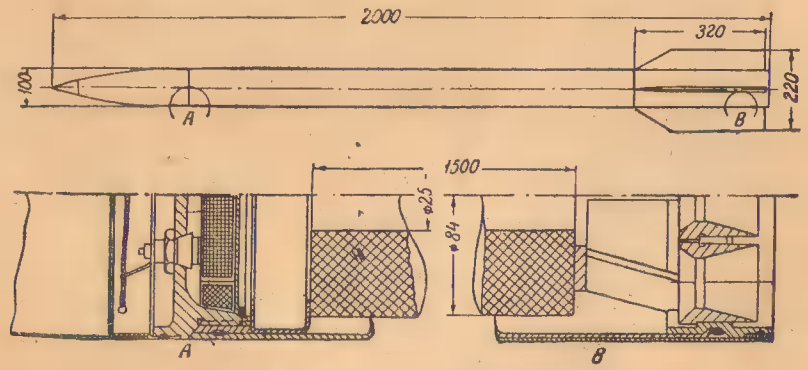


Рис. 92. Зенитный снаряд „Тайфун".

морной конструкции снаряда почти пределом. Однако следует указать, что такое облегчение всех частей снаряда, хотя и дало значительное увеличение скорости, но вместе с тем также неблагоприятно отразилось на величине баллистического коэффициента. В дальнейшем будет показано, что, несколько увеличив вес боевой части и тем самым увеличив могущество снаряда «Тайфун», возможно значительно улучшить его тактико-технические данные и в том числе досягаемость.

Разберем более подробно устройство отдельных узлов снаряда «Тайфун».

Боевая часть снаряда состоит из корпуса с разрывным зарядом дна и взрывателя.

Корпус боевой части изготовляется из листового железа, толщиной 0,7 мм в виде двух штампованных половин. Обе половины свариваются сплошным продольным швом. Заостренная форма боевой части, приближающаяся к конической, уменьшает сопротивление воздуха.

Для ввертывания взрывателя впереди боевой части имеется втулка с резьбой. Корпус боевой части соединяется с промежуточным дном закаткой. При помощи тонкой перегородки внутренняя полость делится на две части. В передней части расположено

700 г ВВ, а задняя часть остается пустой и может быть использована для подготовки веса путем заполнения этой полости балластным материалом.

Кроме того, эта пустая полость служит до некоторой степени изолятором ВВ от действия высокой температуры в реактивной каморе.

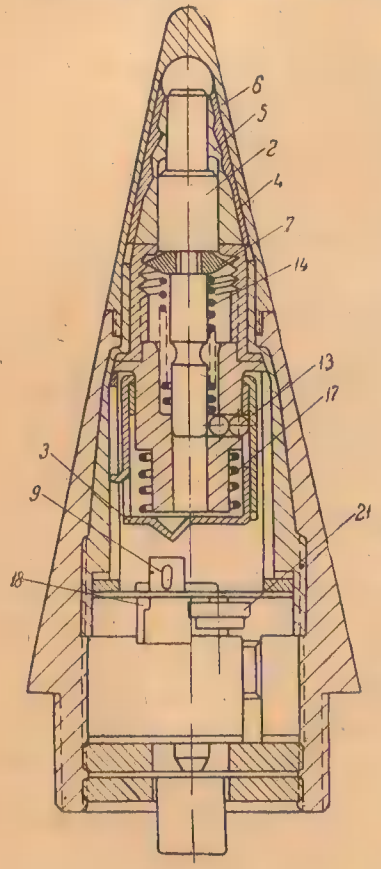


Рис. 93. Взрыватель снаряда „Тайфун".

Взрыватель, примененный в снаряде „Тайфун" (рис. 93), является опытным и, естественно, обладает рядом недостатков. Однако тот факт, что в этом взрывателе наиболее полно осуществлены специфические требования, предъявляемые к взрывателям для РС, заставляет нас более подробно остановиться на его конструкции. Эти специфические требования (помимо общих, например, безопасность в обращении, герметичность при хранении и т. д.) следующие:

1) безотказность действия на высоте до 15 000 м;

2) наличие механизма самоликвидации;

3) мгновенность действия при встрече с преградой;

4) дальняя взводимость.

Взрыватель состоит из следующих основных частей:

1) ударно-контактного механизма;

2) предохранительного устройства (механизма взведения и включения);

3) гальванического источника тока;

4) часового механизма самоликвидации;

5) детонирующего механизма с электрозапалом.

В ударный механизм, смонтированный в верхней части взрывателя, входят металлический контактный колпак (6) и шесть пластмассовых изолирующих сегментов (5). Изолирующие сегменты помещаются в пространствах между пластинчатыми контактами втулки (4) и с одной стороны опираются на внутреннюю поверхность контактного колпака, а с другой стороны—на оседающий стержень (2), благодаря чему пластинчатые контакты изолируются от контактного колпака (6). По сравнению со снарядами ствольной артиллерии, линейное ускорение реактивных снарядов имеет небольшую величину, соответственно чему невелик коэффициент линейной взводимости, равный

$$K_1 \approx \frac{1{,}5\,\sigma_K P_{max}}{Q},$$

где:

σ_K — площадь критического сечения сопла;

P_{max} — максимальное давление в каморе;

Q — полный вес снаряда.

Для снаряда „Тайфун" $K_1 = 92{,}5$.

Поэтому механизм предохранительного устройства отличается от обычных механизмов, применяемых в ствольной артиллерии.

Предохранительное устройство состоит из стержня (2), сидящей на нем «прыгающей» предохранительной шайбы (7), предохранительной пружины (14), шести шариков (13), ударника (3) и сжатой пружины (17).

Шайба имеет при вершине угол 60°, а резьба, на которой она должна прыгать, 100°. Таким образом, шайба под действием линейного ускорения может перемещаться вниз. Механизм взведения имеет значительно больший путь взведения по сравнению с обычными взрывателями. Пружина (14) выбрана слабой, следовательно, механизм взводится только при продолжительном действии силы, хотя и небольшой.

Гальванический источник тока (18) состоит из цинкового стаканчика — отрицательного полюса элемента и железного цилиндра, покрытого гальваническим способом перекисью свинца,— положительного полюса. Электролит — серная кислота, удельного веса 1,26. Напряжение элемента 2,4 в. Электролит находится в стеклянной ампуле. Часовой механизм размещен в полости гальванического элемента. Назначение механизма — обеспечить самоликвидацию снаряда на нисходящей ветви траектории.

Механизм включения (он же одновременно является предохранительным механизмом в случае падения снаряда головой вниз) состоит из пластинки включения (9) и нормально разомкнутых контактов, удерживающих цепь электрозапала разомкнутой.

Пластинка включения (9) своим буртиком входит в паз маятникового колеса (21), препятствуя работе часового механизма.

Детонирующее устройство состоит из электрозапала и капсюля детонатора лучевого действия.

Действие взрывателя. В служебном обращении оседающий стержень (2) с шайбой (7) удерживается в верхнем положении предохранительной пружиной (14), а движению ударника (3) препятствуют шарики (13). Часовой механизм не работает. Контакты включения и контакты самоликвидации разомкнуты.

На активном участке траектории стержень (2) вместе с прыгающей шайбой (7), под действием сил инерции от линейного ускорения, преодолевая сопротивление предохранительной пружины, движется вниз. Предохранительная шайба (7) проходит по резьбе, соскакивая с одного витка на другой.

Принцип действия механизма взведения с предохранительной шайбой заключается в том, что при падении снаряда на хвостовую часть, кратковременный импульс силы инерции недостаточен для полного прохождения пути шайбой. Она не успевает по времени проскочить все витки резьбы, и взрыватель не взводится. Более продолжительное действие силы инерции от линейного ускорения на активном участке траектории, несмотря на ее малую величину, обеспечивает прохождение шайбой всего пути.

Стержень (2) с шайбой (7) перемещается вниз до тех пор, пока его выточка не окажется против шариков (13). В этот момент шарики заскакивают в выточку стержня (2), благодаря чему ударник, перемещаясь вниз, разбивает ампулу с электролитом и одновременно приводит в действие часовой механизм. Шарики (13), попав в выточку, препятствуют перемещению стержня (2) вверх. Электролит приводит в действие гальванический элемент. При нижнем положении оседающего механизма изолирующие сегменты освобождены и могут перемещаться в направлении к оси взрывателя. Взрыватель взведен. Электрическая схема собрана таким образом, что один полюс соединен с контактным колпаком (6), а второй — через электрозапал с пластинчатыми контактами втулки (4). При встрече с целью колпак (6) деформируется, перемещает сегменты (5) к оси взрывателя и приходит в соприкосновение с пластинчатыми контактами. Вследствие этого гальванический элемент разряжается через электрозапал. Если заряд не встретится с целью, часовой механизм через определенное время после выстрела замыкает контакты и снаряд ликвидируется на нисходящей ветви траектории. Существенным недостатком взрывателя является его сложность, которая может вызвать ряд затруднений в массовом производстве. Другим недостатком взрывателя является возможность смятия контактной головки и замыкания ее с пластинчатыми контактами вследствие случайных ударов при служебном обращении. Кроме того, наличие большого количества контактов в электрической цепи понижает надежность действия взрывателя.

В пороховой двигатель снаряда «Тайфун» входят: реактивная камора с зарядом и воспламенителем, блок-сопло, стабилизирующее устройство и система зажигания.

Реактивная камора изготовлена из цельнотянутой стальной трубы; в передней части трубы вварено роликовой сваркой кольцо, в котором нарезается резьба для соединения с боевой частью. Задний конец трубы закатан и затем приварен к блок-соплу. Тонкие стенки каморы при выстреле под воздействием пороховых газов

нагреваются до высоких температур. Произведенные опыты показали, что еще до сгорания всего пороха камора накаливалась докрасна, не выдерживала давления и разрывалась. Для предохранения каморы от накаливания она покрывается внутри термоизоляционным составом толщиной 0,2—0,3 мм.

Первый слой этой изоляции состоит из смеси калиевого жидкого стекла и мелко измельченного каолина. Второй слой — из смеси калиевого жидкого стекла и мелкого порошка окиси магния. Первый слой является грунтовочным; он хорошо держится на металле, но расплавляется под действием высоких температур. Второй слой не плавится под действием высоких температур и представляет собой хорошую защиту от нагрева. Нанесение изоляционных слоев производится заливкой каморы в вертикальном положении при температуре $+40°$ С. Такая температура заливки принята вследствие того, что термоизоляционный слой плохо выдерживает напряжение растяжения и хорошо переносит сильное сжатие. Таким образом, слой, нанесенный при температуре $+40°$С, всегда будет испытывать напряжение сжатия. Грунтовочный слой толщиной 0,1—0,15 мм просушивается в вертикальном положении каморы при той же температуре, при которой происходила заливка. Нанесение второго слоя производится только после высыхания первого. Термоизоляционный слой наносится после того, как в переднем конце каморы будет приварено усиливающее кольцо.

Опыты, проведенные по сжиганию порохового заряда в камере, покрытой указанным изоляционным слоем, дали хорошие результаты. Наружная поверхность каморы после конца истечения нагревалась до 250°С в головной части и до 400—450° — в сопловой.

В заднем конце каморы находится блок-сопло с семью симметрично расположенными соплами, имеющими размеры $d_K = 18$ мм;

$$d_a = 27 \text{ мм} \quad \xi = \frac{d_a}{d_K} = 1{,}5.$$

Из немецких отчетов по отработке снаряда «Тайфун» следует, что применение семи сопел вместо одного уменьшает газодинамический эксцентриситет и улучшает кучность снаряда [1].

Применение семи сопел уменьшенной длины позволяет сократить общую длину снаряда примерно на 150 мм; при этом из-за недостаточной величины $\xi = 1{,}5$ несколько уменьшается единичный импульс.

Соединение блок-сопла с каморой производится закаткой конца трубы в кольцевую канавку на цилиндрической поверхности

[1] Это положение еще требует добавочной опытной проверки, так как подобные опыты в Советском Союзе с другими образцами дали противоположный результат.

сопла с последующей заваркой места сварки тугой электросваркой. Это обеспечивает прочность и герметичность соединения.

В сопло упирается диафрагма, состоящая из кольца и приваренных к нему 4-х ножек.

Внутри каморы, опираясь на диафрагму, располагается одношашечный заряд размером 84/25—1500, весом 11,0 кг. При сгорании пороховой шашки за 1,5—1,7 сек развивается тяга — 2 100 кг. В верхней части на пороховой шашке расположен воспламенитель из пиротехнического состава весом 130 г с добавкой 20 г ДРП. Шашки пиротехнического состава помещаются в кольцеобразную коробку из нитропленки. Применение этой коробки вызвано необходимостью предохранить воспламенитель от сырости при длительном хранении. Сверху шашек из пиротехнического состава накладывается кольцеобразная шашка из ДРП, которая воспламеняется от электрозапала.

При проектировании системы зажигания для снаряда «Тайфун» были предъявлены следующие требования:

1) надежность зажигания;

2) простота устройства;

3) возможность ведения огня одиночными выстрелами и очередями с темпом 2—5 выстрелов в секунду;

4) возможность управления огнем из отдельной пусковой установки и из центрального КП группы 30-ти установок;

5) в качестве первичного источника тока на отдельной установке и на КП должен применяться аккумулятор, который в полевых условиях обеспечивает простоту ухода.

Для снаряда «Тайфун» была отработана индуктивная система зажигания следующей конструкции: на внешней стороне боевой части снаряда в специальном зиге помещается индуктивная (вторичная) катушка из 30 витков изолированной проволоки $d = 0{,}4$ мм, причем один конец проволоки припаян к контактной пластине, соединенной с двумя пиропатронами. Другой конец припаян к корпусу снаряда. Первичная катушка находится на направляющей пусковой установки. При прохождении по ней тока высокой частоты, во вторичной катушке индуктируется ток, который накаляет мостики сопротивления пиропатронов.

В качестве источника тока для снаряда «Тайфун» был запроектирован, устанавливаемый на КП для 30 установок, высокочастотный генератор со следующими характеристиками:

мощность	$W = 3$ квт
напряжение	$V = 40$ в
частота	$F = 1000$ герц
число оборотов	$n = 3000$ об/мин.

Вторичная катушка, находящаяся на снаряде, была рассчитана на получение тока силою 0,5 а и напряжением в 1 в, необходимого для срабатывания пиропатронов.

Первичная катушка имеет сердечник, составленный из листового железа. На каждом полюсе первичного электромагнита намотана катушка из десяти витков. Катушки соединены последовательно.

Принятая система зажигания для снаряда «Тайфун» имеет ряд недостатков. Прежде всего это относится ко вторичной цепи, находящейся на снаряде. Индуктивная катушка, помещаемая на поверхности снаряда в зиге, не гарантирована от повреждений во время транспортировки, в условиях эксплоатации. Возможны срывы катушек газовой струей при сходе соседних снарядов, затруднительна смена пиропатронов при отказе системы зажигания.

Следует заметить, что система индуктивного зажигания лишена многих недостатков контактных систем и может быть отработана в варианте, лишенном указанных недостатков.

Для стабилизации снаряда на полете служит 4-х лопастный стабилизатор, причем лопасти приварены под углом 1° к оси снаряда, что осуществляет проворачивание снаряда. Для уменьшения сопротивления воздуха оперение имеет острый угол встречи с воздушным потоком. Старт снаряда «Тайфун» осуществляется с 30 винтовых направляющих, смонтированных на лафете зенитной пушки. Для ведения снаряда по винтовой направляющей, имеющей шаг закрутки ≈ 8 м, к передней части каморы приварен штифт. Благодаря проворачиваемости снаряда (около 150 об/мин) была достигнута достаточно высокая кучность боя (Вб/Х $\approx$ Вд/Х $\approx$ 1/140). Окончательно снаряд на вооружение не был принят, но в феврале 1945 года велись опытные отстрелы.

4. Зенитный реактивный снаряд «Торнадо»

Зенитный реактивный снаряд «Торнадо» (рис. 94) имеет то же назначение, что и снаряд «Тайфун»—борьба с бомбардировочными

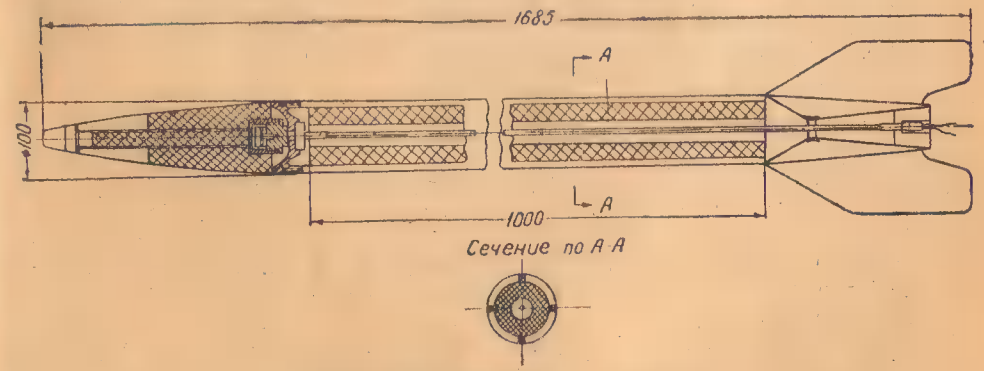


Рис. 94. Зенитный снаряд „Торнадо".

соединениями на высоте до 10 000 м. Основное отличие его от снаряда «Тайфун» состоит в следующем. Снаряд «Тайфун» рассчитан

на получение максимально возможной скорости при данном весе боевой части. Теоретические исследования показывают, что этот максимум скорости для снарядов небольшого калибра весьма пологий и даже при резком уменьшении длины порохового заряда падение скорости невелико. Несмотря на то, что в снаряде «Тайфун» шашка имеет длину 1 500 мм, а в снаряде «Торнадо» только 1 000 мм, падение скорости последнего составляет всего лишь 100 м/сек. Таким образом, без существенного уменьшения высоты полета снаряда значительно уменьшена общая длина снаряда.

Из других особенностей снаряда «Торнадо» по сравнению с «Тайфуном» могут быть отмечены следующие:

— изменение системы зажигания, а именно, воспламенение от электрозапала через целлулоидный фитиль к воспламенителю;

— изготовление крышки-сопла с одним отверстием;

— изменение системы самоликвидатора снаряда;

— частичное бронирование порохового заряда для того, чтобы выравнить и уменьшить давление в реактивной каморе.

5. Опытный снаряд фирмы «Рейнметалл-Борзиг»

В мощном зенитном снаряде фирмы «Рейнметалл-Борзиг» для стрельбы на большую высоту представляет интерес устройство боевой части.

Боевая часть состоит из 7 отдельных секций (рис. 95). Каждая секция представляет собой цилиндрическую коробку, которая снаряжена убойно-зажигательными осколками (рис. 96). Вес осколка — 55 г (из них около 5 г зажигательного состава). Осколки залиты взрывчатым веществом, причем в каждой секции помещается 420 осколков. Радиус действительного поражения ≈ 25 м. Через боевую секцию снаряда проходят каналы, представляющие собой замедлители. Попав в район цели, эти секции начинают срабатывать постепенно друг за другом. Таким образом, в результате разрыва снаряда в районе цели получается поражаемое пространство, равное 350 × 50 м. Такая зона чрезвычайно увеличивает вероятность поражения цели, так как ошибки по дальности перекрываются растянутостью зоны сплошного поражения.

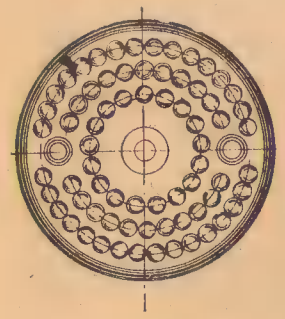
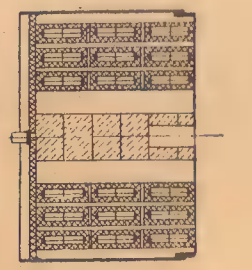


Рис. 95. Боевая часть с убойно-зажигательными осколками.



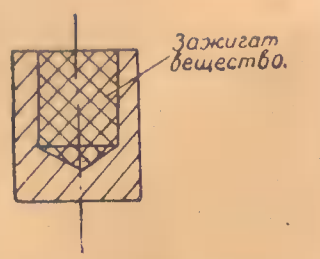


Рис. 96. Убойно-зажигательный осколок.

Реактивный двигатель особенного интереса не представляет; в основной реактивной каморе помещается одноканальная пороховая шашка; стартовая камора с пороховым зарядом аналогична каморе зенитного снаряда «Рейнтохтер», описание которого будет дано ниже.

Снаряд выпускался с направляющих, установленных на лафете обычной зенитной артиллерийской пушки.

6. Снаряд-матка «Рейнкинд»

В начале 1945 г. фирмой «Рейнметалл-Борзиг» был разработан проект снаряда-матки под названием «Рейнкинд», который хотя и не получил осуществления, но безусловно представляет технический интерес. Основная идея этого снаряда состоит в том, чтобы

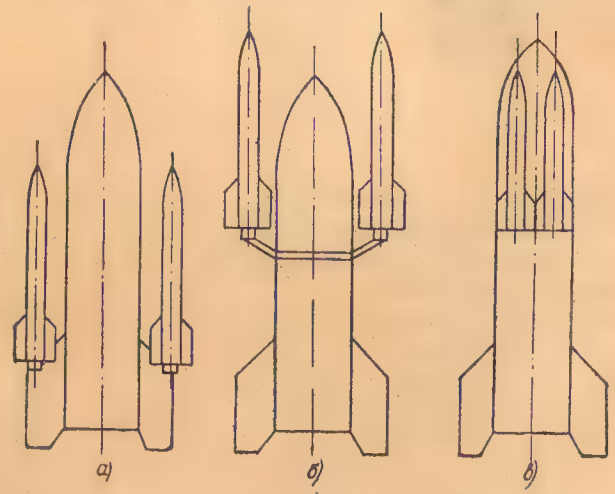


Рис. 97. Схемы крепления боевых снарядов на снаряде-матке.

достигнуть большой плотности огня. Снаряд-матка состоит из порохового двигателя, на который может быть насажено до 20 более мелких отделяющихся снарядов. Расположение отделяющихся снарядов может быть выполнено по-разному, как это изображено на рис. 97. Конструкция снаряда по схеме 97а обладает двумя недостатками:

1) из-за переноса центра тяжести снаряда к оперению труднее осуществить устойчивый полет снаряда;

2) при сходе отделяющихся снарядов возможен их удар о корпус порохового двигателя. Наилучшей является схема 97в, как обладающая хорошей аэродинамической формой и надежной стабилизацией.

Схема работы снаряда-матки следующая. За короткое время, примерно за 1 сек, скорость снаряда увеличивается до 1 000 м/сек. После сгорания порохового заряда пороховой двигатель, вследствие большого сопротивления воздуха, сильно тормозится, а отде-

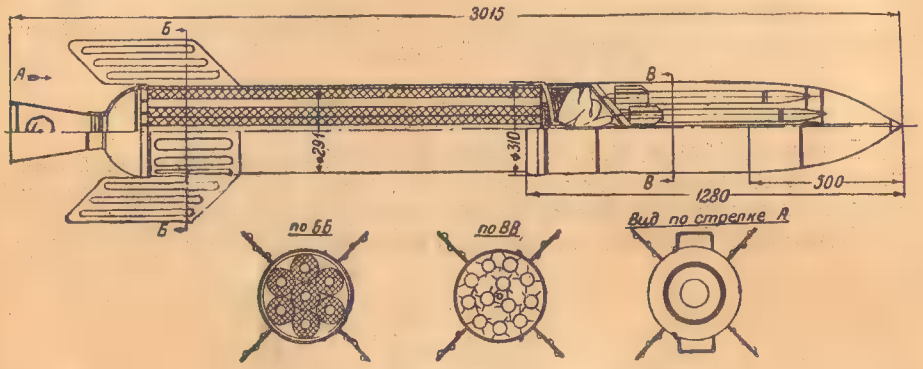


Рис. 98. Снаряд-матка на 12 снарядов.

ляющиеся снаряды, имея хорошую аэродинамическую форму, продолжают самостоятельный полет, достигая высоты 12—15 км.

Согласно фирменным отчетам имелся вариант постановки дополнительного порохового двигателя в каждом отделяющемся снаряде. Проведенные у нас расчеты показали непригодность такой схемы как с точки зрения получения максимальной высотобойности, так и с точки зрения экономичности.

Проведенные расчеты показывают также, что в снаряде «Рейнкинд» условный коэффициент экономичности, равный $\frac{H \cdot q_б}{\omega}$, примерно в 2—$2^1/_2$ раза выше, чем у описанного зенитного снаряда «Тайфун». Кроме того, расчеты показывают, что выгоднее делать отделяющийся снаряд более тяжелым, достигая высокой поперечной нагрузки, даже если увеличение веса несколько снизит начальную скорость снаряда.

Рассмотрим более подробно конструкцию снаряда-матки с двенадцатью отделяющимися снарядами, изображенную на рис. 98. Отделяющийся боевой снаряд калибра 45 мм весит около 4 кг, длина его около 20 калибров. Корпус снаряда может быть изготовлен из цельнотянутой трубы или литьем из серого чугуна. Для получения более гладкой поверхности, после сборки снаряд окра-

шивается. Внутренняя часть боевого снаряда наполняется 0,5—0,7 кг ВВ, которое вследствие вытянутой формы заряда приводится к детонации с помощью детонирующего шнура, пропущенного через заряд ВВ. Взрыватель ударного действия ввертывается в хвост корпуса. Он взводится при отделении снаряда от порохового двигателя и срабатывает при ударе в цель, а также взрывает снаряды

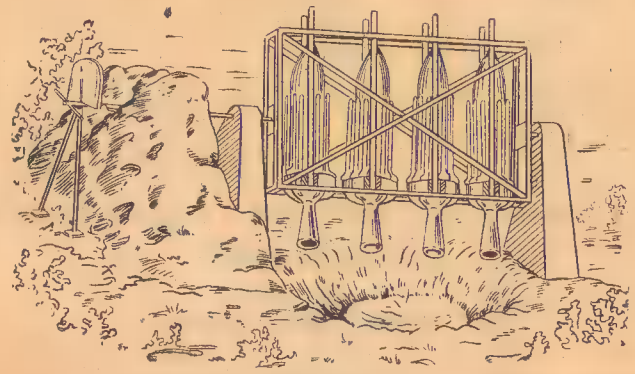


Рис. 99. Пусковое устройство „Рейнкинд".

через 30 секунд после начала полета, если снаряд не встретит цели.

Стабилизация полета боевого снаряда производится четырехлопастным стабилизатором. Боевые снаряды насажены на направляющие штифты и прикрыты баллистическим колпаком. Раскрытие баллистического колпака происходит в начале пассивного участка траектории устройством, имеющим пороховой замедлитель.

Реактивная камора порохового двигателя выполнена из трубы с полукруглыми донъями. Пороховой заряд из семи шашек весом около 90 кг. Воспламеняется заряд электрозапалом, расположенным в верхнем воспламенителе. Над дном порохового двигателя в специальном отсеке расположен парашют диаметром 1,2—1,5 м, служащий для того, чтобы при падении реактивной каморы на землю ее скорость не превышала 30—40 м/сек. Раскрытие парашюта производится после того, когда пороховой двигатель достиг своего потолка и имеет минимальную скорость. Для раскрытия парашюта имеется устройство с пороховым замедлителем.

Стабилизация снаряда-матки на полете осуществляется четырехлопастным стабилизатором.

Для запуска снарядов «Рейнкинд» немцы запроектировали упрощенное пусковое устройство (рис. 99), имеющее только одну ось поворота. На каждом лафете устанавливаются четыре снаряда-мат-

ки, так что при выстреле одновременно выбрасываются 48 снарядов. Очевидно, что установка нескольких десятков пусковых устройств для запуска снарядов-маток в районе обороняемого объекта не представляет каких-либо технических трудностей. Это дает возможность выпустить в течение нескольких секунд по вражеским самолетам несколько сотен или тысяч снарядов.

Можно считать, что зона поражаемого пространства по высоте ограничивается областью, в которой происходит снижение скорости снаряда с 1 000 до 300 м/сек.

Ориентировочные расчеты показывают, что стрельбу снарядами «Рейнкинд» выгодно вести по группе бомбардировщиков, имеющей не менее 12—15 самолетов.

§ 17. УПРАВЛЯЕМЫЕ ЗЕНИТНЫЕ СНАРЯДЫ БЫВШЕЙ НЕМЕЦКОЙ АРМИИ

1. Снаряд «Рейнтохтер»

Управляемый зенитный снаряд «Рейнтохтер» (рис. 100) разработан фирмой «Рейнметалл-Борзиг» в нескольких вариантах. Наиболее полно отработанным был вариант порохового снаряда-модели R-1, который предназначался для поражения целей на высоте 6 км. Над этим снарядом немцы начали работать в 1943 г. и закончили в 1944 г. К этому времени досягаемость стрельбы — 6 км, была уже явно недостаточной, но немцы все же продолжали вести работы по окончательной доработке этого варианта. В начале 1945 г. должны были состояться государственные испытания и прием этого снаряда на вооружение германской армии, так как считалось, что в техническом отношении снаряд вполне доработан. Партия таких снарядов была изготовлена, но на государственные испытания не дошла, и большое число этих снарядов попало в руки Советской Армии.

Снаряд R-1 состоит из двух частей — передней и задней. Задняя часть представляет собою пороховой стартовый двигатель, отделяющийся после разгона снаряда. Вначале снаряд разрабатывался как целеищущий, поэтому впереди снаряда помещалась целеищущая головка с фотоэлементом. Ввиду того, что окончательно разработать такую головку не удалось, ее заменили системой радиоприборов, команда на которые подается с земли и которые действуют на соответствующие рули управления.

В передней части снаряда (рис. 100) помещаются следующие основные агрегаты: приводы рулей; приборы управления (гироскопы, умформер, радиоаппаратура и др); основной пороховой двигатель; взрывчатое вещество.

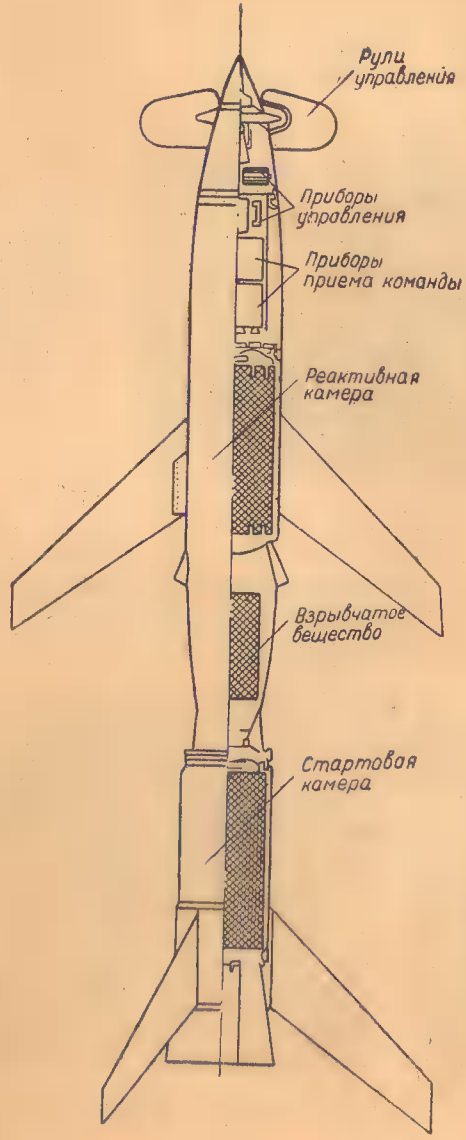


Рис. 100. Снаряд „Рейнтохтер".

В головной части расположены механизмы, приводящие в действие 4 руля. Кроме того, имеется 6 больших крыльев (для планирования), два из которых также снабжены дополнительными рулями с механизмами управления. На двух крыльях расположены антенны: на одном — приемная, на другом — антенна передатчика. Два следующих крыла заняты мощными трассерами. Крылья изготовлены из дерева и снимаются при транспортировке. При старте снаряда (рис. 101) вначале включаются трассеры. Когда они разгораются, зажигается пороховой стартовый двигатель, который горит примерно 1 сек и дает снаряду скорость 300 м/сек. После окончания горения стартового заряда взрывается пороховой болт, соединяющий основную часть снаряда со стартовой, последняя отваливается, подключается основ-

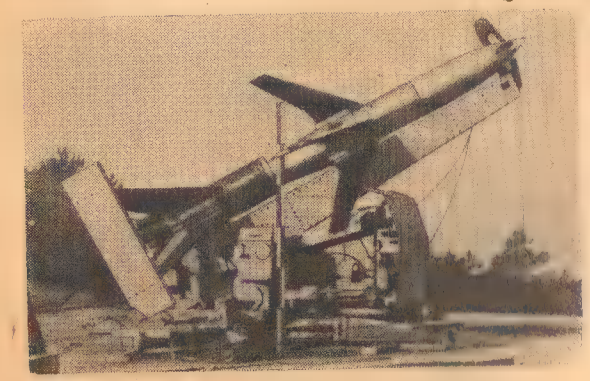


Рис. 101. Старт ракеты R-1.

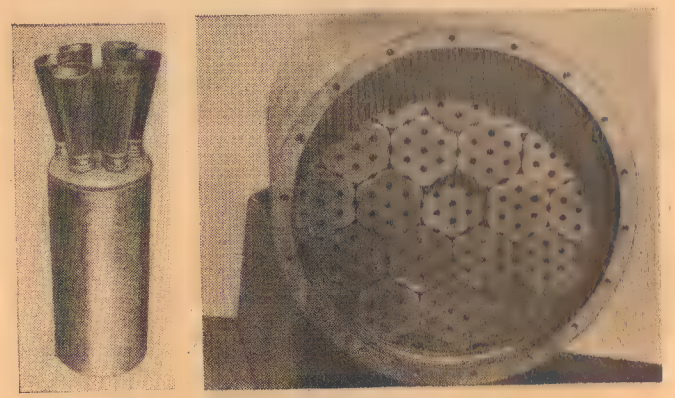


Рис. 102. Стартовая камора R-1.

ной двигатель, под действием которого снаряд продолжает путь. Время работы основного порохового двигателя ≈10 сек. Скорость в конце активного участка достигает 420 м/сек, снижаясь через 20 сек после старта к моменту достижения цели до 200 — 220 м/сек.

Остановимся более подробно на конструкции и работе отдельных наиболее важных узлов снаряда «Рейнтохтер».

Боевая часть, отлитая из алюминиевого сплава, расположенная в задней части летящего снаряда, содержит около 3000 мелких зажигательных осколков, изображенных на рис. 96. Взрыв этого снаряда, по немецким данным, дает зону сплошного поражения радиусом до 50 м.

В стартовой каморе (рис. 102) размещено 250 кг дигликолевого пороха. Заряд стартовой каморы состоит из 19 семиканальных шашек и 6 шашек, имеющих лепестковую форму (точнее говоря форму W). Длина шашек — 1050 мм. На рис. 103 приведен чертеж пороховых шашек стартовой каморы. Внутреннее отвер-

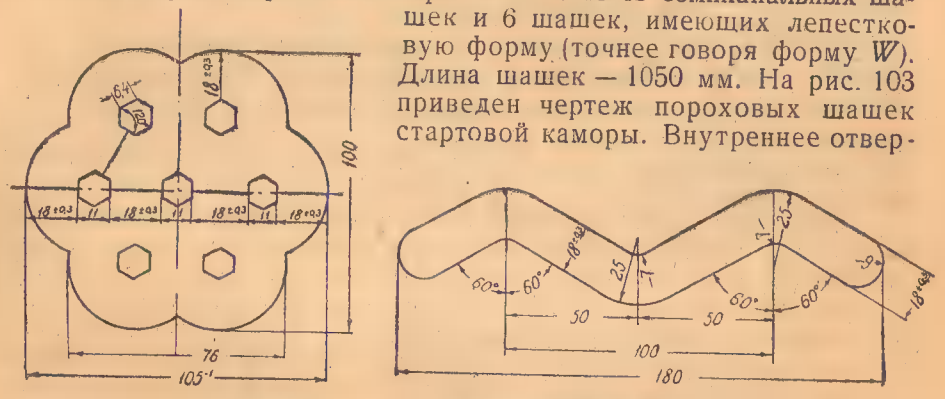


Рис. 103. Пороховой заряд снаряда R-1.

стие семиканальной шашки имеет форму шестигранника и соответствует форме внешнего обвода. Это дает минимальный распад пороха — около 1%. Пороховая шашка имеет большую прогрессивность. Толщина горящего свода пороховой шашки $2e_1 = 18$ мм.

Шашки формы W дегрессивны и применяются для бóльшего заполнения стартовой каморы пороховым зарядом. В итоге, давление в стартовой реактивной каморе в течение всего времени горения остается почти постоянным; максимальное давление в каморе 155 атм. В реактивной каморе имеется 7 сопел. Центральное сопло изменяющегося сечения. Это достигается ввинчиванием втулки, которую можно менять в зависимости от температуры. Камера дает тягу примерно 50 т в течение 1 сек. Конструкция каморы сварная из 12-мм листовой стали. Донья каморы — чашеобразные (подобно котельным днищам) из 15-мм листовой стали. Стартовая камора закрепляется в массивной рамке и сбрасывается взрывом пирозаряда, расположенным между зарядом ВВ и стартовым двигателем.

Тяговая камора по своей конструкции примерно аналогична стартовой. Пороховой заряд состоит из 7 шашек дигликолевого медленно горящего пороха (скорость горения ≈ 4 мм/сек), раз-

мером 168/20—970. Максимальное давление в камере не превышает 80 атм. Тяговая камера сварной конструкции имеет 6 сопел, наклоненных под углом — для возможности выхода газов, так как за этой камерой помещается боевая часть.

В снаряде была предусмотрена специальная схема управления запалами зажигания пороховых зарядов и взрывателем. Схема была выполнена так, что воспламенение заряда в основной реактивной каморе происходило только в том случае, если старт осуществлялся нормально; взведение взрывателя обеспечивалось лишь в случае нормальной работы двигателя.

Пуск снаряда производится со специального лафета, переоборудованного из лафета 88-мм зенитной пушки. Фиксация снаряда на трех направляющих производится посредством трех захватов, расположенных на корпусе снаряда.

Кроме механизма ручной наводки, установка была снабжена автоматической аппаратурой наведения.

Схема управления снарядом при стрельбе примерно такова. На командном пункте имеются два наблюдателя-наводчика, которые снабжены мощными оптическими приборами с визирной сеткой. Снаряд R-1 выпускается с грубой наводкой на цель-самолет. При старте скорость снаряда порядка 300 м/ сек. Продолжая путь, снаряд входит в зону видимости приборов наведения. Первый наблюдатель корректирует полет снаряда в боковом направлении, второй — в вертикальном. У каждого наблюдателя имеется рукоятка, которой подается командный радиосигнал на снаряд, в соответствии с чем происходит необходимый поворот руля. Таким образом наблюдатели ведут снаряд в район цели.

Так как прямого попадания от снаряда не требуется, а радиус сплошного поражения составляет 50 м, то вероятность поражения атакуемого самолета высока, в особенности при применении этого снаряда по группе тяжелых, идущим плотным строем, бомбардировщиков.

Разрыв снаряда вблизи самолетов должен производиться автоматически. Снаряд принимает 5 команд: 4 на рули (вправо, влево, вверх, вниз) и пятая на электровзрыватель.

Однако следует отметить, что подобное управление снарядом, основанное на визуально-оптическом наблюдении за его полетом, имеет ряд недостатков, связанных, с одной стороны, с трудностью наблюдения в темноте, в облачную погоду, в тумане, и, с другой стороны, с опаздыванием подачи необходимых команд. Следует отметить, что для снаряда *R*-1 намечалось создание телевизионного управления. По этой схеме имеется командный пункт с экраном, на котором изображается атакуемый самолет. Для попадания в цель необходимо направлять снаряд так, чтобы он приближался к самолету, находящемуся в центре экрана. Командуя полетом снаряда и следя за дистанцией его от цели при помощи

телевизора, можно произвести взрыв снаряда в непосредственной близости от цели.

Кроме радиовзрывателя, для снаряда *R*-1 разрабатывались два новые специальные взрывателя — один акустический, срабатывающий от шума мотора, второй термический, срабатывающий от тепловых излучений авиамоторов.

2. Снаряд «Рейнтохтер R-IIIP»

Параллельно с первым вариантом снаряда *R*-1 немцы вели усиленные работы в области создания управляемых реактивных зенитных снарядов, которые летали бы значительно выше и дольше держались бы в воздухе. Были созданы два варианта снарядов „Рейнтохтер“ под индексами *R*-III*F* (жидкостной снаряд) и *R*-III*P* (пороховой снаряд) с высотой стрельбы до 12 километров.

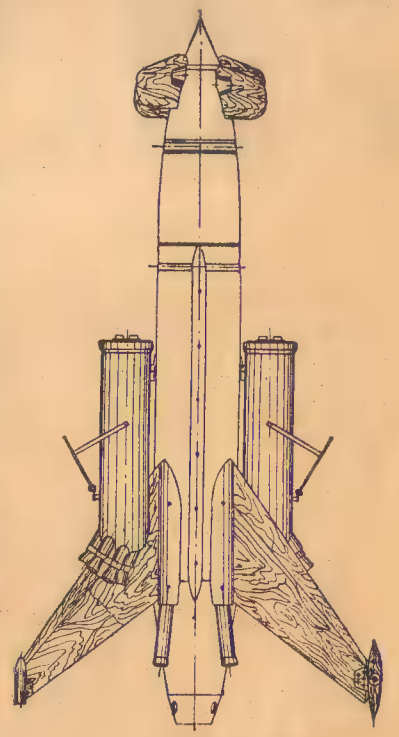


Рис. 104. Снаряд R-IIIP.

Снаряд *R*-III *F* был отработан немцами до отстрела в заводских условиях. По сравнению со снарядом *R*-1, здесь стартовые пороховые каморы размещены сбоку, а основной двигатель работает на жидком топливе: горючее — „тонка“ и окислитель — азотная кислота. Боевая часть расположена посредине снаряда, между двумя баками горючего и окислителя. Имеются некоторые изменения в системе управления снарядом *R*-III*F* по сравнению со снарядом *R*-1.

Работа по созданию порохового варианта снаряда *R*-III *P* (рис. 104) были доведены только до стендовых испытаний двигателя. Этот снаряд разрабатывался по той же схеме, что и снаряд *R*-III*F*, для той же высоты (12 км), при том же боевом заряде (весом в 150 кг), с зажигательными осколками в количестве 3000 штук.

Наиболее сложным и интересным был вопрос о создании исключительно мощного порохового двигателя с весом порохового заряда 450 кг. Время работы порохового двигателя около 40 сек, что обеспечивается применением специальных конструкций крупных порохов, с диаметром шашки до 500 мм.

Такие крупные шашки, диаметром от 300 до 500 мм, немецкая пороховая промышленность получала следующими способами:

1. Изготовлением литых порохов. Порох приготавливали в виде жидкой массы, которую под легким давлением утрамбовывали в форме любых размеров, где масса застывала.

Рис. 105. Пороховой заряд R-III-P.

2. Изготовлением прессов большой мощности, на которых можно было выпрессовывать пороховые шашки диаметром 500 мм и более.

3. Изготовлением шашек, собранных из отпрессованных пороховых сегментов с центральным углом 45° или 60° (рис. 105). Таким образом, цельная шашка состоит из 6 или 8 сегментов. Эти сегменты закладывались в металлическую оболочку и в центр ставилась сплошная цилиндрическая шашка. Все свободное пространство между шашками и оболочкой заливалось нейтральной массой, причем заливали и торцы этой пороховой сборки. В результате получается пороховая сборка, где порох, будучи со всех сторон изолирован нейтральной массой, имеет возможность гореть изнутри прогрессивно.

Г. РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ ДЛЯ БОРТОВОГО ВООРУЖЕНИЯ САМОЛЕТОВ

§ 18. ОСОБЕННОСТИ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ ДЛЯ БОРТОВОГО ВООРУЖЕНИЯ САМОЛЕТОВ

Ранее указывалось, что реактивный принцип из-за отсутствия отдачи дает большие возможности для оснащения самолетов оружием крупного калибра. Как известно, в настоящее время из-за больших сил отдачи калибр пушек, устанавливаемых на самолетах, ограничивается величиной 57—75 мм. При применении реактивного принципа возможности вооружения самолетов оружием значительно более крупного калибра неограниченно возрастают. В прошедшую войну самолеты вооружались снарядами крупных калибров до 200 мм и более. Помимо отсутствия сил отдачи, реактивный

снаряд, поставленный на самолет, приобретает новое замечательное свойство — резко повышается его кучность. Теоретические расчеты показывают, что для снаряда типа М-13 может быть получено следующее улучшение кучности при выпуске его с направляющих самолета.

Скорость самолета км/час.	Коэффициент улучшения кучности
0	1,0
200	1,7
300	2,5
400	3,8
500	5,5

Коэффициент улучшения кучности $K = \frac{B_б}{B'_б}$, где $B'_б$ — боковое рассеивание при стрельбе с самолета.

Это повышение кучности объясняется тем, что добавочная скорость самолета, аналогично стартовой скорости, как бы увеличивает длину направляющей и, как видно из приведенной таблицы, в этом случае кучность реактивных снарядов уже при скорости 500 км/час равняется примерно кучности снарядов ствольной артиллерии. Резкое повышение кучности таких снарядов дает возможность вести стрельбу по одиночным целям. Это положение непосредственно подтверждается и опытом. По свидетельству главного конструктора фирмы «Зброевка», занимавшегося разработкой реактивных снарядов, противотанковые снаряды «Панцерблитц» при пуске их с самолетов имели полное рассеивание на дистанции 1000 м — 8×8 м, следовательно, $B_б/X \approx B_в/X \approx 1/1000$.

Поэтому возможно и целесообразно стрельбу с самолета, вооруженного реактивными снарядами, вести по самолетам, танкам, морским судам и подводным лодкам.

Различие целей, их размеров и бронезащиты, требует для поражения этих целей снарядов различной конструкции, в особенности конструкции боевой части. Для стрельбы по танкам необходимы снаряды бронебойного и кумулятивного действия, для стрельбы по самолетам, из-за невозможности применения большого количества снарядов, разумно применить снаряды, боевая часть которых снабжена большим количеством зажигательных осколков, для стрельбы по морским судам необходимо иметь снаряды либо мощного фугасного действия, либо с мощной бронебойной частью.

Дальнейшее рассмотрение снарядов для бортового вооружения самолетов будем вести по типу их назначения.

§ 19. СНАРЯДЫ ДЛЯ СТРЕЛЬБЫ ПО САМОЛЕТАМ

Реактивные снаряды для стрельбы по самолетам должны иметь большую скорость, необходимую в условиях скоротечности воздушного боя. Из выполненных образцов реактивных снарядов в различных странах можно отметить:

РС-82 и РС-132 — СССР.

R-100 *BS*, «Дратмантель» и «Шланге» — Германия.

5-дюймовый авиационный снаряд *HV. AR* — США.

3,5-дюймовый авиационный снаряд — Англия.

Дадим краткое описание некоторых из названных образцов снарядов:

1. РС-82 и РС-132

Авиационный реактивный снаряд РС-82, изображенный на рис. 106, имеет весьма незначительные отличия от снаряда М-8. Снаряд РС-82 имеет несколько меньший вес ВВ, меньшую длину

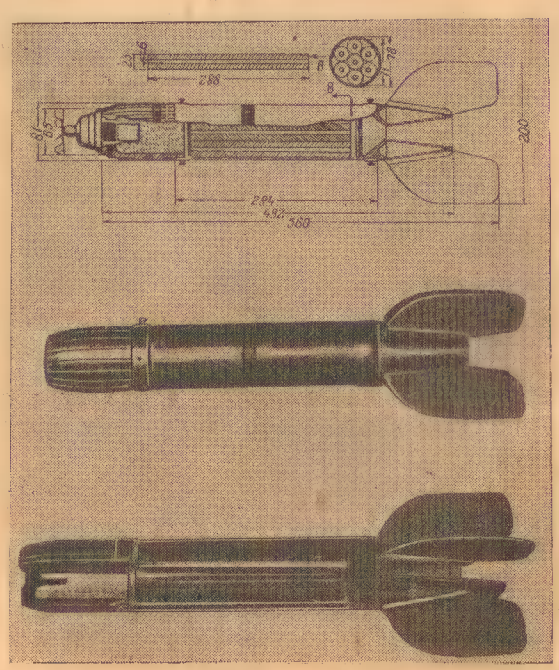


Рис. 106. Авиационный снаряд РС-82.

порохового двигателя и всего снаряда. Общий вес снаряда — 6,82 кг. Скорость по сравнению с М-8 несколько увеличена и равна 350 м/сек. Для лучшего дробления боевой части на осколки, вдоль

корпуса боевой части имеются канавки. Реактивная камора снабжена четырьмя штифтами. Снаряд выстреливается из подкрыльных направляющих. Взрыватель дистанционный, для стрельбы по воздушным целям, и ударный — по наземным.

Авиационный реактивный снаряд РС-132, изображенный на рис. 107, предназначен для поражения воздушных и наземных целей. Принципиально конструкция этого снаряда не отличается от

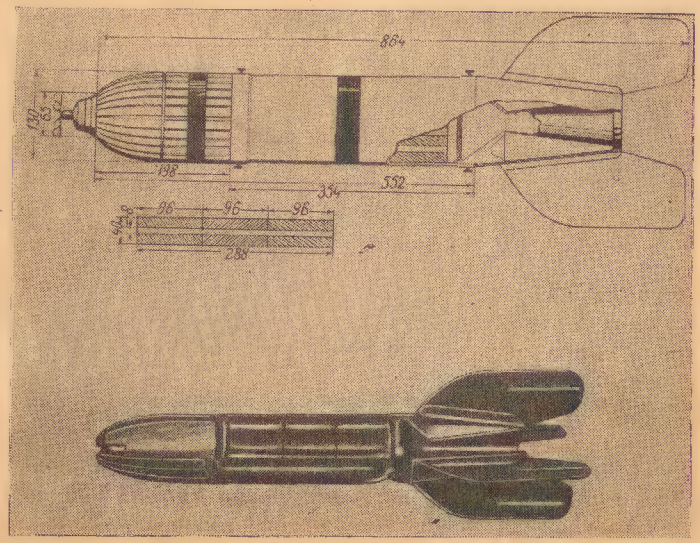


Рис. 107. Авиационный снаряд РС-132.

М-13, но по длине размеры РС-132 значительно меньше. Основные характеристики снаряда следующие: калибр 132 мм, длина 935 мм, общий вес 23,1 кг, вес порохового заряда 3,78 кг, вес ВВ 1,9 кг, максимальная скорость 350 м/сек, максимальная дальность 7100 м. Так же как и в РС-82, для лучшего дробления корпуса боевой части на осколки на нем имеются продольные канавки. Снаряд укрепляется и ведется при выстреле на подкрыльных направляющих четырьмя штифтами, укрепленными в реактивной каморе. Взрыватель дистанционный для стрельбы по воздушным целям и ударный — по наземным.

После 1941 г. для стрельбы с самолетов применяли снаряды М-8 и М-13.

2. Снаряд *R*-100 *BS*

Снаряд *R*-100 *BS* (рис. 108), принятый в 1945 году на вооружение германской армии, предназначался для стрельбы с самолета по самолету. Германская промышленность запустила этот снаряд в производство, но до фронта снаряд не дошел. Самолет типа

«Фокке-Вульф-190» мог взять 2 снаряда, самолет «Ме-262» — 4 снаряда, самолет «Ar-234» — 9 снарядов. Немцы считали, что каждый второй снаряд дает поражение самолета противника, а поэтому этот образец был бы чрезвычайно мощным и грозным оружием.

Основные характеристики снаряда следующие: длина снаряда 1840 мм, калибр 210 мм, общий вес 110 кг, вес боевой части 46 кг

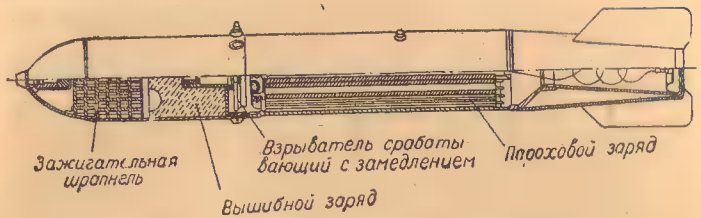


Рис. 108. Авиационный снаряд R-100BS.

(22 кг составляет вес 400 шт. осколков, 10 кг — вес боевого заряда — амматола 50/50), время горения заряда 0,7 сек, давление в реактивной каморе $p_{max} = 130$ кг/см², $p_{ср} = 110$ кг/см², скорость $V_{max} = 400$ м/сек.

Наибольший интерес представляет устройство боевой части. Так как попадание в летящий самолет одиночным снарядом мало вероятно, то немцы пришли к заключению, что наиболее эффективным средством поражения самолетов будет взрыв вблизи от цели мощного боевого заряда с имеющимися в нем готовыми осколками. Имелись различные варианты снаряжения боевой части снарядов *R*-100 *BS*. В основном варианте после срабатывания взрывателя и детонации вышибного заряда из боевой части выбрасываются 400 зажигательных сегментов с начальной скоростью 400 м/сек. Пролетев еще 200 м, эти сегменты способны пробить обшивку и бак самолета.

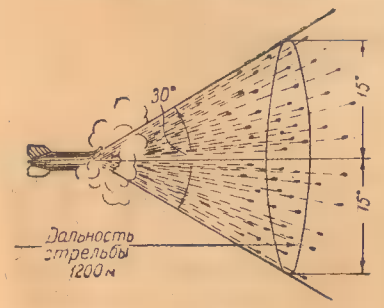


Рис. 109. Мины снаряда R-100BS.

В другом варианте конструкции в боевой части заключено 33 маленьких мины (рис. 109), из которых каждая имеет 400 г ВВ и снабжена взрывателем ударного действия.

Проводились опыты по созданию специального кумулятивного

заряда, который обеспечивал бы надлежащую скорость зажигательным сегментом и тем повышал вероятность поражения цели.

В реактивной каморе применен прогрессивно горящий порох.

Немцы разработали этот снаряд в комплексе с радиолокационным дальномером, который устанавливался на истребителе; при этом, когда смолет-истребитель попадал на необходимую, заранее заданную дистанцию от атакуемой цели, то радиолокационный дальномер срабатывал и снаряд выстреливался автоматически. На расстоянии до 1,5—2 км радиолокационное устройство измеряет дистанцию с точностью до 5 м. Поэтому самолет должен лететь с определенной скоростью, а снаряд должен иметь достаточно точный взрыватель, который производил бы взрыв на заранее заданной дистанции. Такие точные дистанционные трубки были созданы.

Снаряд может выпускаться с дистанции 1200 м, что значительно расширяет поле действия истребителя, так как при вооружении его современными пушками эффективный огонь можно открыть лишь с расстояния 400 м от цели.

3. Снаряд «Дратмантель»

Снаряд «Дратмантель», изображенный на рис. 110, отрабатывался в двух калибрах 150 и 210 мм. Боевая часть этих снарядов выполнена, как и в снаряде R-100 *BS* с отдельными гранатами и принципиально ничего нового не представляет.

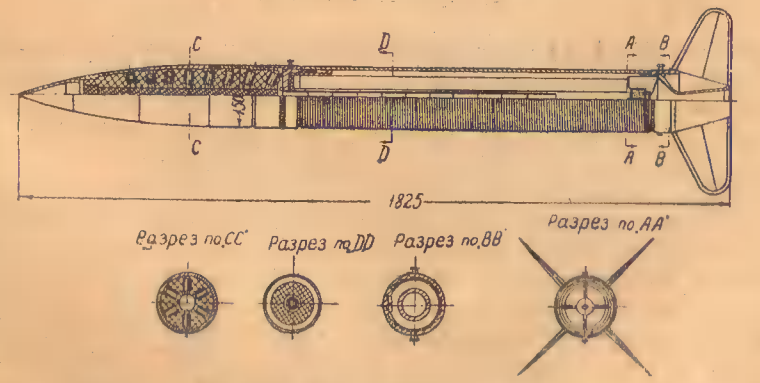


Рис. 110. Снаряд „Дратмантель".

Основной интерес представляет устройство реактивной каморы, которая должна быть сделана возможно легкой для получения наиболее высокой скорости. Для этого реактивная камора изготавливается из тонкого листового материала и затем, для увеличения прочности, обматывается, под предварительным натягом в 80 кг/мм², высококачественной проволокой, с временным сопротивлением на

разрыв в 250 кг/мм². Сначала камора изготавливалась из материала толщиной примерно 1—1,5 мм и имела миллиметровую обмотку. Первые эксперименты с этими каморами показали, что, несмотря на достаточную их прочность (камора с обмоткой выдерживала давление около 300 кг/см²), под действием высоких температур, камора подвергалась короблению. После того, как стенки каморы были утолщены, результаты получились вполне удовлетворительные.

В реактивную камору 150-мм снаряда был пропущен запальный стакан с ВВ, разрушающим снаряд на осколки.

Снаряды «Дратмантель» имели скорость 500—600 м/сек.

15-см снаряд «Дратмантель» разрабатывался фирмой «Зброевка» и к концу 1944 года был принят на вооружение бывшей германской армии.

Особенностью этих снарядов, разрабатываемых фирмой «Зброевка», явилась центричное закрепление пороховой шашки в колосниках. Работами этой фирмы установлено, что эксцентричное расположение пороховой шашки внутри реактивной каморы оказывает большое влияние на эксцентриситет реактивной силы и на разброс снаряда на траектории. Для того, чтобы шашку закрепить центрично, в ней делают пазы, в которые входят ножи колосников. Так как заряд при сгорании будет уменьшаться по длине, целесообразно передние ножи прижимать к пороховой шашке пружиной.

4. Прочие снаряды

В армии США для поражения воздушных, наземных и подводных целей применяются оперенные снаряды *HVAR*, имеющие следующие основные характеристики: калибр 127 мм, длина 1329 мм, общий вес 38 кг, максимальная скорость 400 м/сек. Снаряд пробивает броню до 45 мм и бетон до 600 мм.

На вооружении ВВС Великобритании для стрельбы с истребителей по бомбардировщикам принят оперенный осколочно-фугасный снаряд калибра 89 мм, длиной 1640 мм и максимальной скоростью 400 м/сек. Взрыватель дистанционный общего типа.

Оперенные снаряды имеют большие габариты и значительно ухудшают аэродинамические качества самолетов. Поэтому у нас в Союзе и в иностранных армиях разрабатывались турбореактивные снаряды для вооружения самолетов, калибром до 220 мм, а также снаряды с раскрывающимся оперением. На вооружении бывшей германской армии имелись турбореактивные снаряды различных модификаций калибром 214 мм. Некоторые модификации этих снарядов полностью повторяли конструкцию 21-см снаряда, описанного в § 9. В других более удачных конструкциях за счет значительного облегчения боевой части и веса снаряда была достигнута максимальная скорость порядка 620 м/сек.

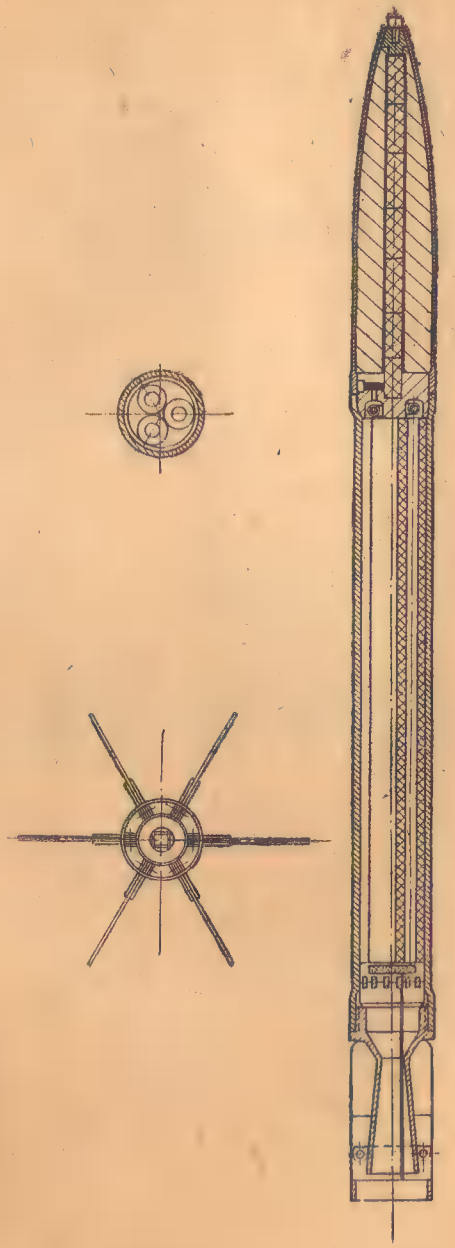


Рис. 111. Авиационный снаряд „Шланге".

Из снарядов с раскрывающимся оперением можно отметить немецкий снаряд «Шланге» (рис. 111), предназначенный для стрельбы с самолета по самолету. Основные данные снаряда: калибр 55 мм, длина 780 мм, общий вес 3,5 кг, вес реактивного заряда 0,69 кг, вес ВВ 0,5 кг, максимальная скорость 450 м/сек. В реактивной каморе помещается пороховой заряд из 3 шашек дигликолевого пороха размером 23/6×380. Снаряд стабилизируется шестиперым складным оперением.

Пуск снаряда производится из гладкой трубы, причем на самолет может быть поставлено до 50 труб. Действие снаряда у цели — фугасное.

ВВС США применяли для вооружения самолетов описанный ранее снаряд M8A3 с раскрывающимся оперением. Выстреливание снарядов производилось из гладких труб.

§ 20. СНАРЯДЫ ДЛЯ СТРЕЛЬБЫ С САМОЛЕТА ПО ТАНКАМ

1. РБС-82 и РБС-132

На рис. 112 изображен авиационный снаряд РБС-82, предназначенный для поражения наземных и подводных целей. Бронепробиваемость снаряда — 50 мм. В отличие от снаряда М-8, корпус боевой части РБС-82 выполнен как бронебойный. Чтобы увеличить скорость снаряда, вес боевой части которого увеличился, пришлось, в сравнении со снарядом М-8, увеличить мощность порохового двигателя, и длину снаряда — до 1035 мм. Главнейшие характеристики снаряда: калибр 82 мм, общий вес 15 кг, максимальная скорость 360 м/сек. В качестве порохового заряда взяты две трехканальные шашки пороха НГВ.

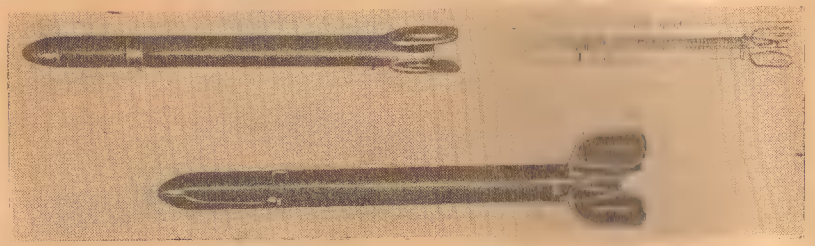


Рис. 112. РБС-82.

Авиационный снаряд РБС-132 (рис. 113) имеет пороховой реактивный двигатель от снаряда М-13, а боевая часть выполнена по типу бронебойных снарядов. Бронепробимаемость РБС-132 — до 75 мм. Благодаря утяжелению боевой части, по сравнению с М-13, несколько уменьшилась скорость снаряда, которая стала равной 320 м/сек.

В снарядах РБС-82 и РБС-132 применяется донный взрыватель АВ-96. Донный взрыватель АВ-96 (рис. 114) специально разработан для реактивных снарядов. Для взведения взрывателя используется давление в реактивной каморе.

Взрыватель АВ-96 состоит из предохранительного и замедлительно-детонирующего механизмов, которые заключены в стальной корпус (9).

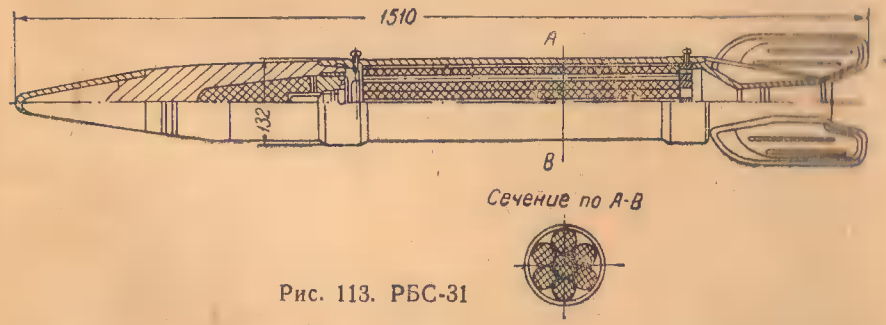


Рис. 113. РБС-31

Предохранительный механизм состоит из донной втулки (4), дюралюминиевого предохранителя (6), поджимной втулки (7), двух шариков (5).

Ударный механизм состоит из: ударника (3), втулки (7), капсюля-воспламенителя (2), предохранительной пружины (10) и жала (11). Замедлительно-детонирующее устройство состоит из: втулки с пороховым замедлителем, капсюля-детонатора (16), тетрилового детонатора (13) и стакана (17).

Картонные прокладки (8) и (19) служат для предотвращения прорыва газов в корпус боевой части. Прокладки (14), (15) служат для надежного поджатия капсюля-детонатора.

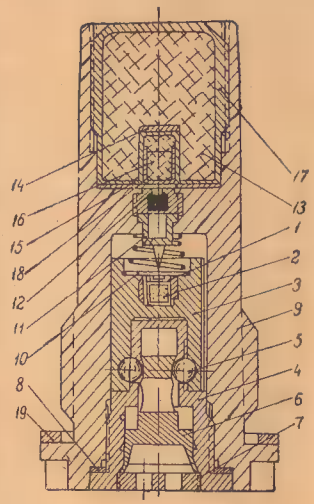


Рис. 114. Донный взрыватель АВ-96.

При выстреле давлением газов в реактивной каморе предохранитель (6) продавливается во внутрь донной втулки (4), предохранительные шарики освобождают ударник, и взрыватель готов к действию. Во время встречи снаряда с преградой ударник (3) по инерции идет вперед, сжимая пружину (10), и накалывает капсюль-воспламенитель (2) на жало (1). Луч огня от капсюля-воспламенителя через отверстие в жале воспламеняет замедлитель (12) (замедлитель действует 0,04—0,06 сек), от которого взрываются капсюль-детонатор (16), тетриловый детонатор (13) и боевой заряд.

2. Снаряд «Панцерблитц»

Авиационный противотанковый снаряд «Панцерблитц» (рис. 115) предназначен для стрельбы с самолета по танкам. Этот снаряд представляет комбинацию боевой части снаряда «Оффенрор» и реактивной части, выполненной по схеме 80-мм оперенного снаряда.

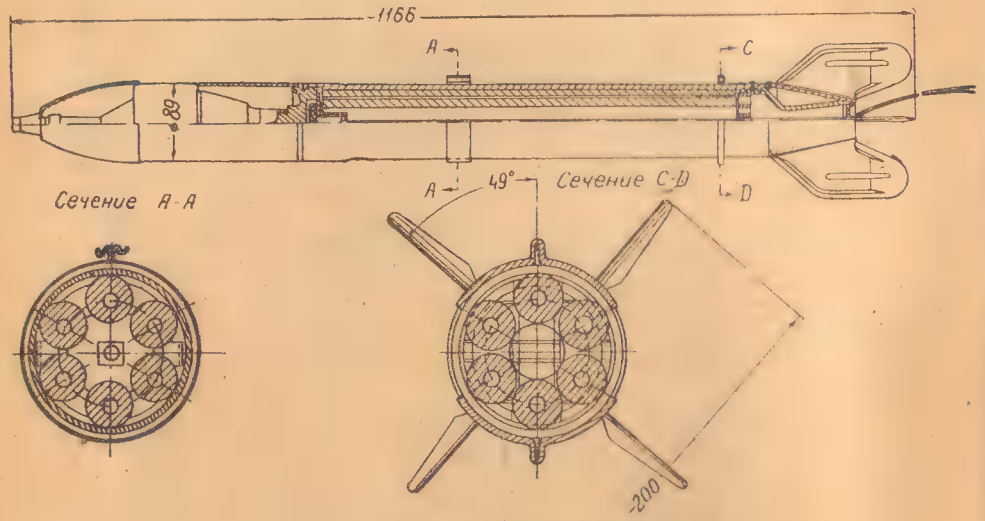


Рис. 115. Снаряд „Панцерблитц".

Важнейшие данные снаряда следующие: калибр 88 мм, длина 1166 мм, общий вес 6,5 кг. Вес реактивного заряда — 1,0 кг, вес ВВ 0,5 кг, максимальная скорость 300 м/сек. Несмотря на сравнительно толстый пороховой заряд ($2e_1 = 9{,}55$ мм) и продолжительное время горения заряда $\tau = 0{,}45$ сек, благодаря добавочной скорости самолета — кучность снаряда очень хорошая — $Bв/X \approx Bб/X \approx 1/1000$. По отчетным данным при стрельбе с самолета по танкам, каждый шестой снаряд поражает танк.

§ 21. РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ ДЛЯ СТРЕЛЬБЫ С САМОЛЕТА ПО МОРСКИМ СУДАМ

1. Авиационные реактивные бомбы

К 1940 году на вооружении авиации немецкой армии состояли бронебойные авиационные бомбы весом 500, 1000 и 1500 кг. Эти бомбы имели прочный бронебойный стальной корпус, штампованный из одного куска металла на мощных прессах методом горячей штамповки. Однако первое применение этих бомб в боевых условиях показало незначительную эффективность данного вида вооружения, так как для того, чтобы пробить защитную броню, они должны были иметь необходимую скорость у цели, а скорость определяется высотой бомбометания. С увеличением высоты бомбометания уменьшается вероятность попадания в цель и для поражения цели требуется колоссальный расход боеприпасов. В среднем попадание этими бомбами составляет около 1% от сброшенного количества.

В период 1940—1942 гг. немцы разработали и приняли на вооружение реактивные бронебойные бомбы для поражения морских судов с более низкой высоты для увеличения вероятности попадания. Эти бомбы имеют мощную бронебойную головку и снабжены пороховым реактивным двигателем. Таким образом, можно пробивать броню 180—200 мм с высоты порядка 1 км. Вес ВВ этих бомб составляет 15—20% от полного веса.

На рис. 116 изображен бронебойный снаряд *SC* — 500 *RS*, имеющий следующие основные данные: общий вес 500 кг, вес взрывчатого вещества 120 кг, вес заряда 60 кг, общая длина 2,2 м, диаметр 30 см.

Пороховой реактивный двигатель снаряда *SC*-500 *RS* имеет регулируемое клапанное сопло, поддерживающее в реактивной каморе определенное давление.

Методы регулирования давления будут разобраны ниже, здесь лишь укажем, что регулируемые сопла целесообразно применять в снарядах крупных калибров из-за трудности изготовления и большой сложности клапанных сопел. Применение других видов регулировки давления в авиационных реактивных бомбах невозможно, так как установку регулируемого сопла на определенную величину на земле произвести нельзя (температура на высоте полета самолета неизвестна), а производить летчику регулировку при полете практически невозможно.

При наличии в реактивной каморе давления выше определенного, на которое отрегулирован клапан, часть газов сбрасывается. В немецких авиационных бомбах давление не превышало 150 кг/см², что значительно ниже применявшегося в снарядах наземной реактивной артиллерии (около 300 кг/см²) и поэтому детали порохового двигателя могут быть рассчитаны на меньшее давление.

Старт авиационных реактивных бомб производится, как правило, на расстоянии 800—1500 м от цели.

В дальнейшем, при разработке других образцов реактивного вооружения для борьбы с морскими судами, мысли конструкторов были направлены на создание снаряда, имеющего значительно большее количество ВВ и обладающего большей точностью попадания. С этой целью немцы создали снаряд «Куртькугель» (рис. 117), боевая часть которого выполнена в виде шара с тонкой металлической оболочкой. Эта боевая часть соединена с пороховым двигателем разрывным болтом.

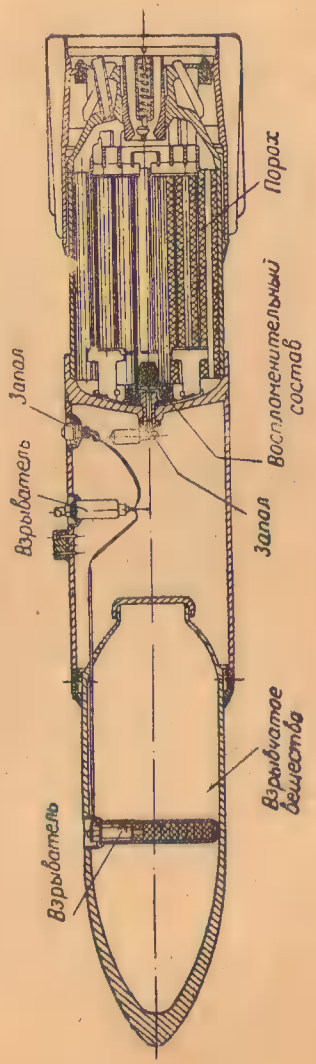


Рис. 116. Снаряд SC-500 RS.

Вес боевой части 480 кг, в том числе 300 кг взрывчатого вещества.

Бомба сбрасывается с самолета, летящего на высоте 50 м, примерно за 2 км до цели. Через секунду включается реактивный двигатель, который разгоняет снаряд, имеющий для устойчивости стабилизатор. Собственная скорость от реактивного двигателя 160 м/сек; к этому надо добавить скорость самолета порядка 100 м/сек. Следовательно, скорость, с которой снаряд направляется к судну, составляет 250—300 м/сек.

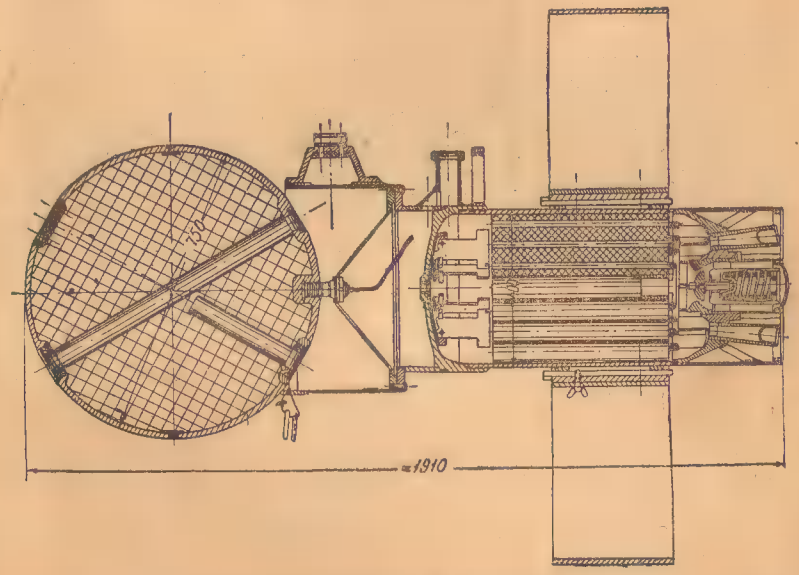


Рис. 117. Снаряд „Курткугель".

По окончании работы реактивного двигателя шашка взрывчатого вещества, находящаяся внутри соединительного болта, взрывается и болт разрушается, вследствие чего боевая часть отделяется от реактивного двигателя и летит в направлении цели. Достигнув водной поверхности, шар рикошетирует и скачками движется к цели (высота прыжка $\approx$ 0,1 его длины). На рис. 118 изображена траектория движения снаряда «Курткугель». Таким образом, точность попадания зависит только от точности горизонтального наведения и не зависит от рассеивания по дальности.

Ударившись о судно, боевая часть снаряда «Курткугель» начинает тонуть. Эффективность данного снаряда состояла в том, что в нем был применен гидростатический взрыватель, срабатывающий от повышения давления при увеличении глубины. Как правило, надводная поверхность судна имеет прочное броневое при-

крытие и поэтому идея мощного поражения судна заключается в том, чтобы взрыватель давал взрыв при погружении снаряда на определенную, заранее заданную глубину порядка 8 м, т. е. в самой уязвимой части судна. По немецким данным, взрыв заряда в 300 кг обеспечивал или вывод судна из строя, или его гибель.

Снаряд «Курткугель» подвешивается под самолет на специальных направляющих. Иногда на снаряд одевается баллистический обтекатель, соединенный с основной конструкцией тонкими поясами и слетающий при отрыве реактивной части.

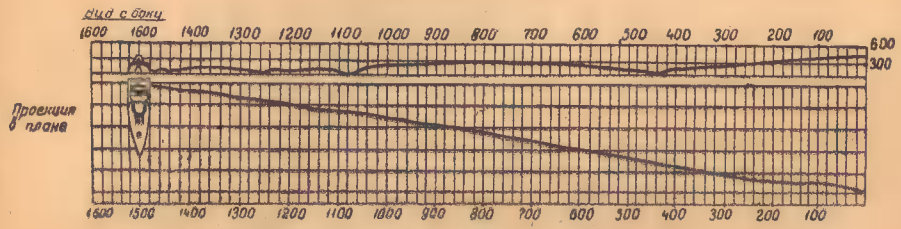


Рис. 118. Траектория снаряда „Курткугель".

Над этим снарядом немцы работали с 1943 года, причем он подвергался различным испытаниям. Имеется много технической документации по этим испытаниям, кинофильмов и прочих материалов, которые подтверждают возможность создания снарядов, идущих рикошетом над водной поверхностью.

Немцы готовили этот снаряд к моменту вторжения англо-американских войск на территории Франции, но опоздали, и к концу 1944 года, когда работы считались законченными, этот снаряд потерял для верховного командования Германии практический интерес.

Однако и в дальнейшем фирма «Рейнметалл-Борзиг» проводила интенсивную работу по усовершенствованию этих снарядов и, в первую очередь, по улучшению меткости его стрельбы — созданием специальной автоматики для стабилизации снаряда, увеличением мощности оперения, установкой гироскопов и т. д.

Д. РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ ДАЛЬНЕГО ДЕЙСТВИЯ

§ 22. МНОГОКАМОРНЫЕ РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ

1. 4-каморный снаряд Рейнботе

В 1942 г. в Германии пытались создать дальнобойные пороховые реактивные снаряды. Тактическое назначение таких дальнобойных снарядов, стреляющих на дальности свыше 100 км, немецкое командование видело в обстреле населенных пунктов и в

стрельбе по крупным военным объектам, расположенным далеко за линией фронта. Стрельба, как правило, должна вестись по площадям. В августе 1942 года фирма «Рейнметалл-Борзиг» приступила к разработке реактивного снаряда с весом боевой части 100 кг и дальностью стрельбы 100—120 км, которая впоследствии была увеличена до 160—180 км.

Первоначальная конструктивная и опытная отработка этих многокаморных реактивных снарядов имела целью:

1) проверить устойчивость многокаморного снаряда на полете и подобрать необходимые размеры оперения;

2) определить сопротивление воздуха;

3) проверить кучность таких снарядов, влияние на нее отдельных факторов и в особенности влияние момента отделения каморы;

4) надежность методов воспламенения отдельных камор на разной высоте полета.

Для проверки устойчивости снаряда на полете были проведены многочисленные опыты по установлению размеров стабилизирующих плоскостей при полетах в области сверхзвуковых и дозвуковых скоростей. Для каждой каморы такого многокаморного снаряда предусматривалось устройство отдельного стабилизатора. Это вызвано тем, что общий для всех камор стабилизатор был бы, во-первых, слишком тяжел и, во-вторых, как раз на последней стадии полета реактивного снаряда оказался бы слишком большим, и снаряд испытывал бы большое сопротивление. Значительные трудности представило осуществление своевременного зажигания пороха в каморах. Для зажигания пороха, ввиду ненадежности работы порохового замедлителя, наряду с дистанционной трубкой были опробованы механические и электрические инерционные запалы. Успешные результаты удалось получить с помощью запала, часовой механизм которого снабжался ползушком, движущимся по контактной шкале, что давало возможность производить зажигание порохов в отдельных каморах через определенные промежутки времени.

При баллистических расчетах многокаморных реактивных снарядов исследованию подвергались следующие основные вопросы:

1) влияние времени сгорания зарядов в отдельных каморах на максимальную дальность полета;

2) влияние коэффициента сопротивления воздуха на максимальную дальность полета.

Все эти расчеты представляют значительные математические трудности, однако совершенно бесспорно доказано, что наличие промежутков времени между периодами действия отдельных камор позволяет значительно повысить скорости и дальности многокаморных реактивных снарядов. От первоначальной идеи — отделения камор с помощью специального заряда взрывчатого вещества — пришлось отказаться. В отработанной конструкции освободившаяся

камора отталкивается пороховыми газами, образующимися в камере следующей ступени. На основании испытаний можно констатировать, что, в результате отделения камор, направление траектории полета снаряда меняется не более чем на 0,5°.

Опытные стрельбы производились над десятком различных моделей, причем некоторые из них пускались со штока, некоторые разгонялись стартовой каморой, некоторые выстреливались из открытой трубы. Наконец, в 1944 году в основном был отработан четырехкаморный реактивный снаряд «Рейнботе» (посланец Рейна). Опытная партия этих снарядов в количестве 50 штук была изготовлена в ноябре 1944 года и прошла полигонные испытания в Лебе.

Реактивный снаряд «Рейнботе» (рис. 119) представляет собой снаряд с четырьмя пороховыми двигателями, три из которых отпадают в полете. До цели долетает только боевая часть снаряда с последней каморой.

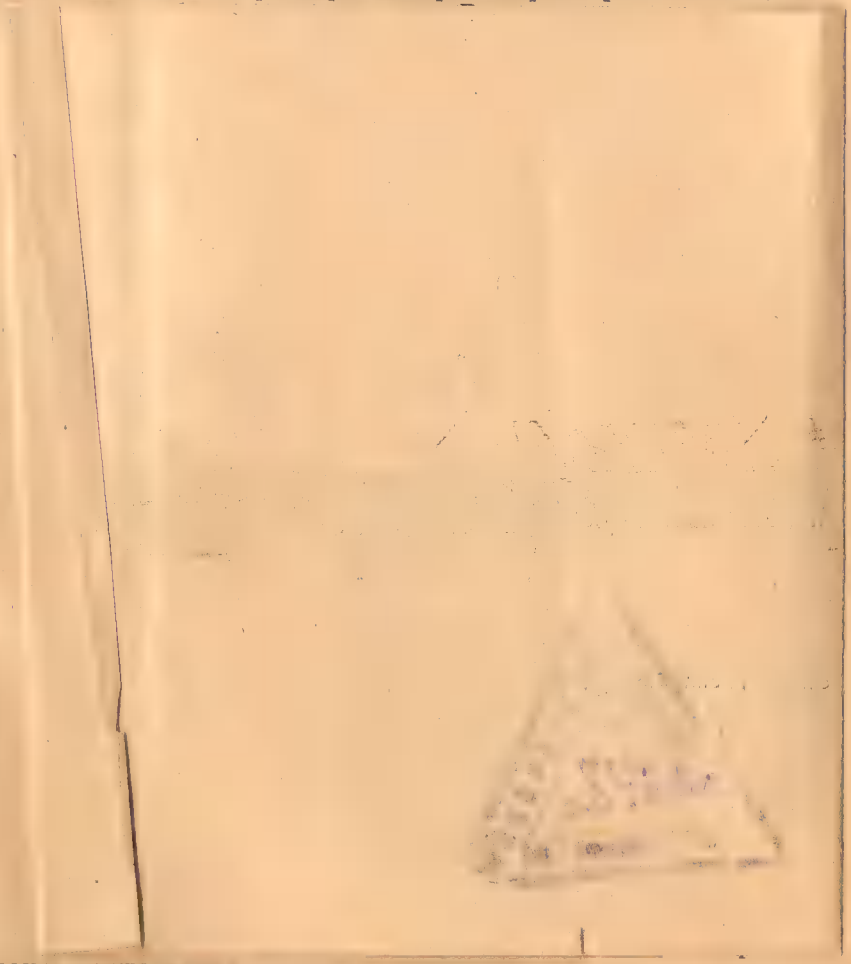
Основные тактико-технические данные снаряда «Рейнботе» следующие: калибр переменный 536—267—191 мм, длина снаряда 10,8 м, общий вес снаряда 1550—1570 кг, вес ВВ 40 кг, максимальная дальность полета 160 км, максимальная скорость 1600 м/сек, действие у цели фугасное, суммарный вес порохового заряда 585 кг, размах оперения переменный 1500—1050—850—600 мм.

Данные порохового двигателя

	4 камора	2 и 3 каморы	1 камора (стартовый двигатель)
Калибр, мм	191	267	536
Длина, мм	2300	2350	1550
Вес в снаряженном состоянии, кг	160	350	650
Вес пороха, кг	60	140	245
Время горения порохового заряда, сек	4	5	1
Давление в каморе, кг/см²	90—120	150	160
Реактивная сила, кг	3000	5600	45000
Размер пороховой шашки, мм	159/40—2130	232/40—2240	Фигурный—7-канальный, длина заряда 1100 мм

Рассмотрим более подробно отдельные части четырехкаморного реактивного снаряда «Рейнботе». Стартовый двигатель в принципе полностью соответствует двигателю зенитного управляемого снаряда «Рейнтохтер» *R*-1 и описан нами в § 17.

Вторая и третья каморы порохового двигателя устроены одинаково за исключением размеров оперения. Далее будет показано, что для получения наибольших скоростей целесообразно применять реактивные каморы различной величины и с различным пороховым зарядом. Однако технологически значительно проще делать каморы одинаковыми, и если размеры каморы выбраны рационально, то



пороховыми двигателями.

Реактивный снаряд «Рейнботе» перевозится на такой же тележке, которая служит для перевозки дальнобойных ракет V-2. На этой тележке имеется направляющий полоз длиной 8 м, монтирующийся на специальной стальной конструкции, с помощью которой снаряду задают необходимые углы возвышения и горизон-

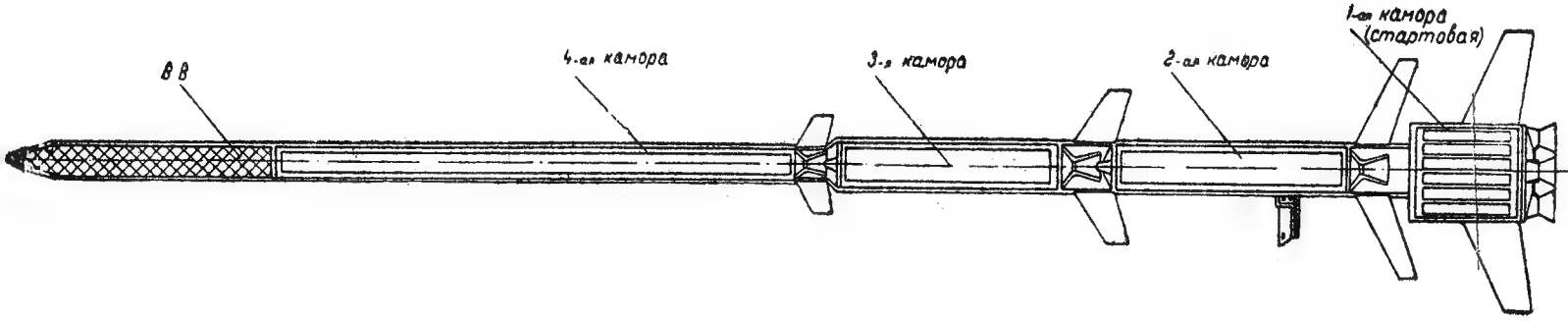
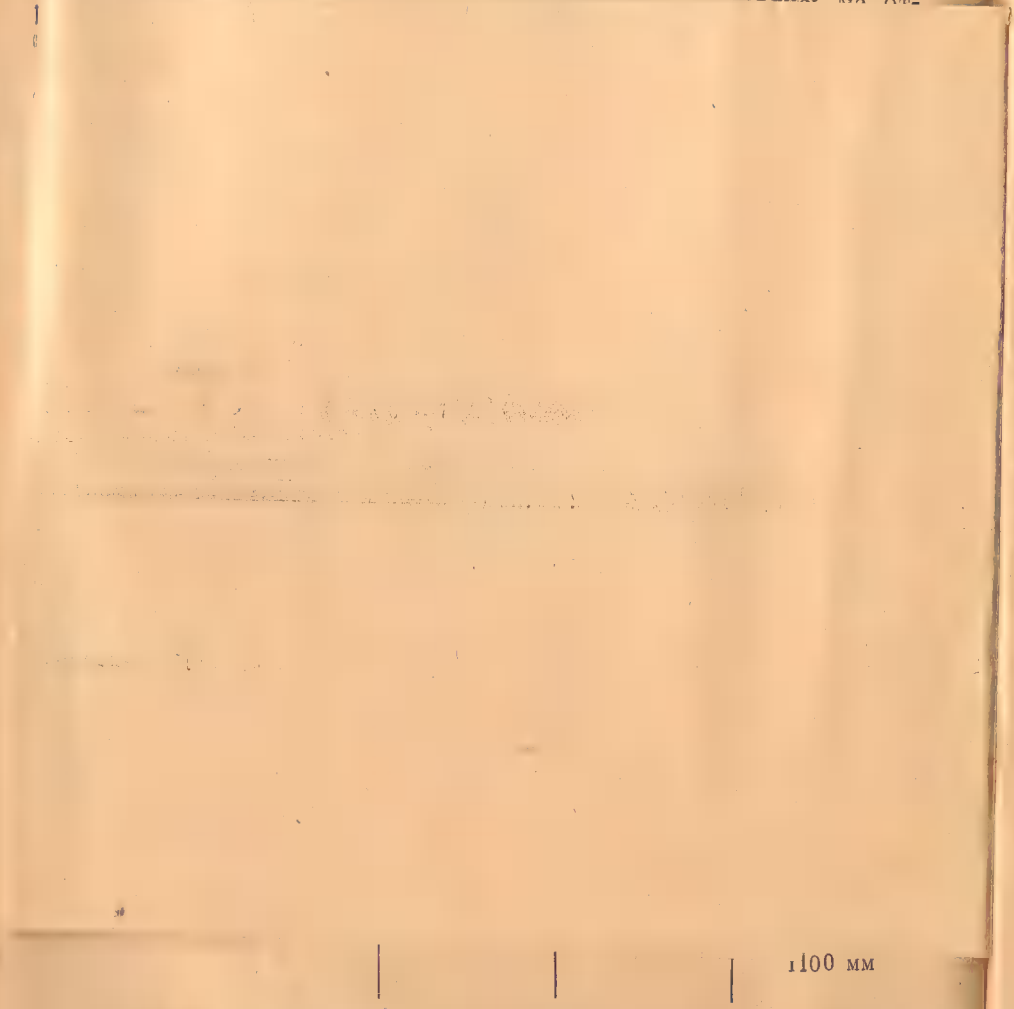


Рис. 119. 4-каморный снаряд „Рейнботе".

камора отталкивается пороховыми газами, образующимися в камере следующей ступени. На основании испытаний можно констатировать, что, в результате отделения камор, направление траектории полета снаряда меняется не более чем на 0,5°.

Опытные стрельбы производились над десятком различных моделей, причем некоторые из них пускались со штока, некоторые



100 мм

Рассмотрим более подробно отдельные части четырехкаморного реактивного снаряда «Рейнботе». Стартовый двигатель в принципе полностью соответствует двигателю зенитного управляемого снаряда «Рейнтохтер» *R*-1 и описан нами в § 17.

Вторая и третья каморы порохового двигателя устроены одинаково за исключением размеров оперения. Далее будет показано, что для получения наибольших скоростей целесообразно применять реактивные каморы различной величины и с различным пороховым зарядом. Однако технологически значительно проще делать каморы одинаковыми, и если размеры каморы выбраны рационально, то потери в скорости будут незначительны. Вторая и третья реактивные каморы изготовлены из калиброванной стальной трубы с толщиной стенки 14 мм и наружным диаметром 267 мм. В этих каморах помещается пороховая шашка размером 232/40—2240 мм. В сопловой части реактивная камора имеет меньший диаметр, на который насаживается следующая камора. Соединение отдельных двигателей снаряда, для того чтобы они не разъединились при транспортировке, производится пружинным механизмом. К корпусу первого порохового двигателя приварен упор, которым реактивный снаряд скользит по направляющим во время взлета (передняя часть реактивного снаряда на старте свешивается консольно). Четвертая камора соединена с головной частью, от которой не отделяется.

Боевая часть несет 40 кг ВВ и имеет толщину стенки 1,5 мм. Ввиду того, что при опытных отстрелах наблюдались случаи разрыва ВВ, оно помещено в толстый слой картонной изоляции. Четвертая реактивная камора изготовлена из стальной цельнотянутой калиброванной трубы, в которой помещается пороховая шашка размером 159/40—2130 мм; при этом параметр заряжания достигает величины $\varkappa \approx 300$, значительно превосходя этот параметр в снарядах существующих конструкций. Пороховой двигатель четвертой реактивной каморы работает около 4 секунд и прекращает работу примерно на 22 секунде после старта. Работа двигателей после старта осуществляется в следующей последовательности.

На направляющих с помощью электровоспламенителя воспламеняется пороховой заряд стартовой каморы. Снаряд быстро набирает скорость и устремляется на цель. Примерно через 0,5 сек после выгорания порохового заряда стартовой каморы ее замедлитель воспламеняет заряд первого порохового двигателя и газы, выходящие через его сопло, отбрасывают стартовый двигатель. Аналогичный процесс повторяется и с другими двигателями, пока не воспламенится пороховой заряд в четвертой каморе. Дальнейший полет на цель совершает головная часть вместе с четвертой каморой с суммарной скоростью, сообщенной стартовым и тремя пороховыми двигателями.

Реактивный снаряд «Рейнботе» перевозится на такой же тележке, которая служит для перевозки дальнобойных ракет V-2. На этой тележке имеется направляющий полоз длиной 8 м, монтирующийся на специальной стальной конструкции, с помощью которой снаряду задают необходимые углы возвышения и горизон-

тального наведения. Тележка, с которой запускается снаряд «Рейнботе» (рис. 120), перевозится на прицепе автомашиной.

Реактивный снаряд «Рейнботе» имеет ряд технологических особенностей, которые следует отметить, так как целесообразность их применения вполне очевидна. Это, в первую очередь, применение точных, калиброванных, цельнотянутых труб для изготовления реактивных камор. Трубы изготавливаются с высокой степенью точности, затем калибруются протягиванием раздвижной оправки, благодаря чему точность их по диаметру достигает 0,2 мм. Такой же допуск получается по эллиптичности трубы.

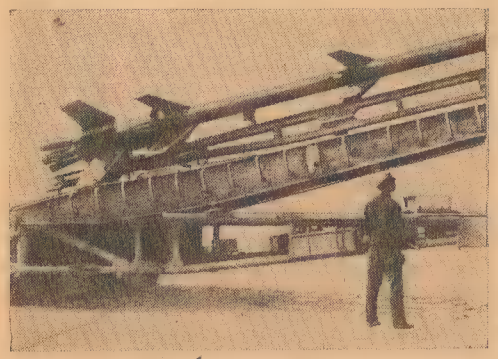


Рис. 120. Пусковая установка „Рейнботе"

Второй особенностью является широкое применение точной сварки отдельных деталей. Так как на конце реактивной каморы должны иметься резьбы и утолщения для присоединения сопла, другой каморы и обработка камор, имеющих большую длину, потребовала бы специального станочного оборудования, то было решено такие детали вытачивать отдельно и затем их приваривать с помощью весьма точных кондукторов. Результаты таких технологических приемов следует признать вполне удовлетворительными. После сварки детали подвергаются гидравлическим испытаниям при давлении порядка 150 кг/см². Широкое применение сварка получила и при изготовлении доньев, крышки-сопла и т. д. И, наконец, третьим технологическим достоинством является широкое применение штампованных деталей и штампосварных конструкций в производстве различных узлов и деталей снаряда.

Давая общую оценку реактивному снаряду «Рейнботе», нельзя сказать, что этот снаряд является вполне удовлетворительным из-за ряда недостатков, присущих ему. Важнейшим недостатком этого снаряда является слишком большое рассеивание, так как факторов, увеличивающих таковое, значительно больше, чем в однокаморном пороховом снаряде. Такими добавочными факторами являются:

1) возмущения реактивного снаряда во время отбрасывания реактивной каморы;

2) ошибки продолжительности горения порохового заряда в различных каморах;

3) ошибки времени воспламенения отдельных камор.

В качестве других недостатков четырехкаморного снаряда «Рейнботе» можно указать следующие:

1) недостаточная мощность снаряда, так как вес ВВ состав-

8422

стабилизаторами только с жесткими плоскостями. Чтобы не увеличивать калибр направляющего ствола, необходимо усложнить стабилизатор первой ступени. В качестве направляющих снаряда в стволе используются: в задней части — поддон, в местах соедине-

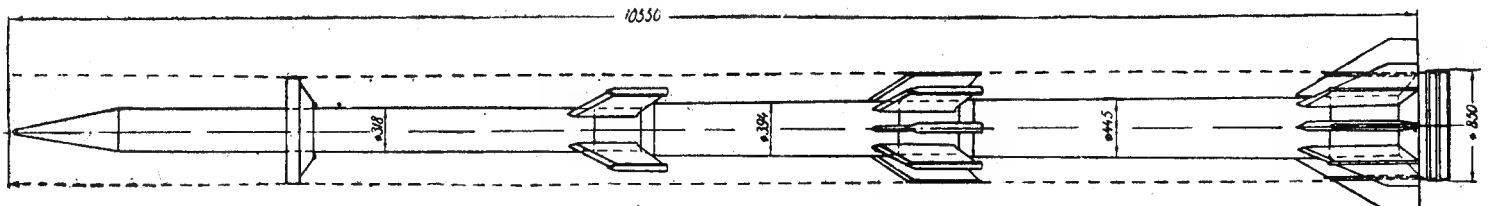


Рис. 121. 3-каморный снаряд.

тального наведения. Тележка, с которой запускается снаряд «Рейнботе» (рис. 120), перевозится на прицепе автомашиной.

Реактивный снаряд «Рейнботе» имеет ряд технологических особенностей, которые следует отметить, так как целесообразность их

реактивной каморы;

2) ошибки продолжительности горения порохового заряда в различных каморах;

3) ошибки времени воспламенения отдельных камор.

В качестве других недостатков четырехкаморного снаряда «Рейнботе» можно указать следующие:

1) недостаточная мощность снаряда, так как вес ВВ составляет всего 40 кг;

2) частая преждевременная детонация разрывного заряда;

3) отказы в работе воспламенителей;

4) неполное сгорание порохового заряда;

5) сильное колебание снаряда на полете, благодаря чему при опытных стрельбах наблюдались неоднократные случаи разрыва третьей каморы.

2. Проект 3-каморного реактивного снаряда

Учитывая недостатки описанного снаряда «Рейнботе», фирма «Рейнметалл-Борзиг» спроектировала новый трехступенчатый, неуправляемый пороховой реактивный снаряд, общим весом 2405 кг и длиной 10,5 м (рис. 121); при весе боевой части 220 кг снаряд имеет дальность 160 км; при этом по предварительным расчетам рассеивание по дальности и боковое рассеивание равно 5 км. При дальности 100 км можно увеличить вес боевой части до 570 кг.

При весе боевой части в 220 кг веса отдельных реактивных камор равны 1100, 635 и 450 кг и соответствующие диаметры равны 445, 394 и 318 мм.

Реактивный снаряд выстреливается из направляющего ствола длиной 14 м (калибр 85 см) и получает начальную скорость 240 м/сек. К общему весу снаряда добавляется вес поддона, с которым он выбрасывается из ствола. После выхода снаряда из ствола поддон отделяется от него давлением пороховых газов, образующихся в первой каморе. Заряд в каморе первой ступени воспламеняется механическим или электрическим инерционным запалом. Воспламенение заряда в каморах второй и третьей ступеней производится часовым механизмом и запалом. Часовой механизм взводится (снимается с предохранителя) во время движения снаряда на направляющей. После воспламенения порохового заряда во второй, а затем в третьей каморе пороховые газы отталкивают предыдущие каморы и они отделяются от летящего снаряда. Время горения пороха в отдельных каморах составляет соответственно 8, 5; 8 и 6 сек. Третья (последняя) камора связана непосредственно с боевой частью. Каждая ступень имеет свой стабилизатор, причем первая ступень снабжена комбинированным стабилизатором из жестких и складывающихся плоскостей, а две другие — стабилизаторами только с жесткими плоскостями. Чтобы не увеличивать калибр направляющего ствола, необходимо усложнить стабилизатор первой ступени. В качестве направляющих снаряда в стволе используются: в задней части — поддон, в местах соедине-

ния первой каморы со второй и второй каморы с третьей — стабилизатор, а в месте соединения третьей каморы с головной частью снаряда — специальное кольцо. Это кольцо состоит из трех частей и при выходе снаряда из ствола отбрасывается пружиной. Стартовая установка (рис. 122) имеет неоткатывающийся ствол, связанный с опорной плитой шаровым шарниром. Приблизительно на 1/3

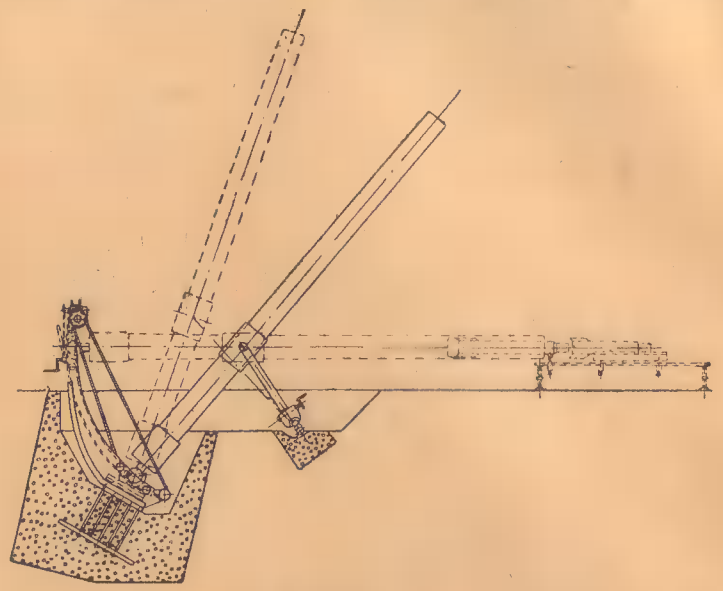


Рис. 122. Стартовая установка для 3-х каморного снаряда.

длины ствол поддерживается упором, изменение длины которого позволяет устанавливать необходимый угол возвышения. Снаряд заряжается при горизонтальном направлении пусковой трубы. Примерная скорость стрельбы 1 выстрел в 15 минут.

В заключение отметим, что для стрельбы на дальности свыше 100 км жидкостные реактивные снаряды имеют бесспорное преимущество перед пороховыми снарядами, так как последние получаются сложными, дорогими и требуют большой затраты пороха.

ГЛАВА III

ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

§ 23. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей главе будут рассмотрены два комплекса вопросов. Это, во-первых, вопросы, связывающие курс проектирования пороховых реактивных снарядов со смежными дисциплинами, а именно с внешней и внутренней баллистикой пороховых реактивных снарядов, и некоторыми другими. Изложение этих вопросов будет кратким, расчетные формулы будут приведены в конечном виде и рассмотрены в приложении для практических конструкторских расчетов. Исключение будут составлять некоторые вопросы, по которым получены новые результаты, еще не освещенные в существующей специальной литературе. Во-вторых, в этой главе рассматриваются вопросы, освещающие общие принципы расчета и проектирования порохового реактивного снаряда. К таким вопросам могут быть отнесены:

1) составление тактико-технического задания (Т. Т. З),
2) составление эскизной схемы снаряда,
3) расчет основных параметров реактивного снаряда, обеспечивающих выполнение двух важнейших требований Т. Т. З, а именно требуемого могущества снаряда у цели и необходимой дальности.

Решив эти вопросы и установив по эскизному чертежу принципиальную технологию изготовления снаряда, конструктор может перейти к проектированию отдельных деталей и узлов реактивного снаряда.

§ 24. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОРОХОВОГО ЗАРЯДА

Если одно из двух основных требований к реактивному снаряду — могущество, определяется в основном конструкцией и размерами боевой части, то второе из этих требований — дальнобойность (высотобойность), определяется мощностью порохового двигателя и весом боевой части. Важнейшим элементом порохового реактивного двигателя является его пороховой заряд, поэтому ме-

тоды наиболее целесообразного проектирования его играют большую роль. Следует отметить, что в существующих конструкциях реактивных снарядов как отечественных, так и иностранных, пороховой заряд подбирался чисто эмпирически и не обеспечивал наилучших тактико-технических данных. Объясняется это тем, что многие снаряды разрабатывались в условиях военного времени, в спешке, а надлежащих теоретических методов тогда не было.

При решении задачи о выборе наивыгоднейшего порохового заряда рассмотрим два случая:

1) пороховой заряд, время горения которого не ограничено;
2) пороховой заряд, время горения которого задано.

1. Пороховой заряд с неограниченным временем горения порохового заряда

Расчет наивыгоднейшего порохового заряда с неограниченным временем горения рассмотрен наиболее полно в работе кандидата технических наук М. М. Арша [1]. Приводимые ниже формулы относятся к расчету наивыгоднейшего порохового заряда, наиболее распространенной трубчатой формы, при условии $\varkappa_{нар} = \varkappa_{кан}$.

Примем следующие основные обозначения:

D — наружный диаметр пороховой шашки;
d — внутренний диаметр пороховой шашки;
L — длина пороховой шашки;
$D_к$ — внутренний диаметр каморы;
$D_н$ — наружный диаметр каморы;
n — число шашек;
p'_{max} — расчетное давление в реактивной каморе;
$\sigma_р$ — допускаемое напряжение на разрыв;
γ — удельный вес металла реактивной каморы;
δ — удельный вес порохового заряда;
q — пассивный вес снаряда;
ω — вес порохового заряда в кг;
C_q — относительный вес реактивного снаряда, равный $\frac{q}{D_н^3}$;
$q_б$ — вес боевой части, включая вес деталей снаряда, независящих от длины снаряда (сопло, диафрагма и т. д.);
$q_р$ — вес реактивной каморы;
$C_{qб}$, $C_{qр}$, C_ω — относительный вес боевой части, реактивной каморы, порохового заряда;

[1] М. М. Арш, «Основные вопросы проектирования реактивных зарядов», изд. Артакадемии, 1948 г.

$\varkappa$ — параметр заряжания $\approx \frac{S_б}{F_{св}}$;

ε — коэффициент наполнения, равный $\frac{n(D^2 - d^2)}{D_к^2}$.

Если над знаком линейной величины стоит черта, то это значит, что она выражена в калибрах, например, $\bar{L}$ — длина пороховой шашки в калибрах.

Далее, если обозначить величину

$$\frac{\sigma_р}{\sigma_р + p'_{max}} = B,$$

то нетрудно показать, что для тонкостенного цилиндра (реактивная камора) справедливо соотношение

$$D_к = D_н B.$$

Размеры пороховой шашки могут быть определены по формулам:

$$D = \frac{D_к}{\sqrt{n(2-\varepsilon)}}, \tag{1}$$

$$\bar{D} = \frac{B}{\sqrt{n(2-\varepsilon)}}, \tag{1 а}$$

$$d = \frac{D_к(1-\varepsilon)}{\sqrt{n(2-\varepsilon)}}, \tag{2}$$

$$\bar{d} = \frac{B(1-\varepsilon)}{\sqrt{n(2-\varepsilon)}}, \tag{2 а}$$

$$L = \frac{D_к \varkappa (1-\varepsilon)}{4\sqrt{n(2-\varepsilon)}}, \tag{3}$$

$$\bar{L} = \frac{B\varkappa(1-\varepsilon)}{4\sqrt{n(2-\varepsilon)}}. \tag{3 а}$$

Коэффициент заполнения ε, при котором снаряд получает максимальную скорость, можно найти из возможной конструкции порохового заряда:

1) Пороховой заряд по длине не ограничен.

В этом случае для определения коэффициента заполнения ε необходимо найти величину N, где

$$N = \frac{\pi \cdot B(1-B^2)\gamma\varkappa k}{16\sqrt{n}\,C_{qб}}. \tag{4}$$

В формуле (4) коэффициент k показывает превышение длины реактивной каморы по отношению к длине порохового реактивного заряда и колеблется в весьма узких пределах $k = 1{,}1 - 1{,}2$.

Величина $\varepsilon = f(N)$ может быть найдена по соответствующей таблице (приложение 3).

2) Пороховой заряд ограничен по длине, что соответствует тому случаю, когда размеры реактивной каморы заданы.

В этом случае коэффициент заполнения ε определяется по формуле

$$\varepsilon = 1 - \frac{Z}{2} - \sqrt{Z + \frac{Z^2}{4}}, \qquad (5)$$

где

$$Z = \frac{\overline{L}^2 \cdot 16 \cdot n}{B^2 \varkappa^2_{\text{пр}}}.$$

Величина коэффициента ε, определенная из зависимости $\varepsilon = f(N)$ или по уравнению (5), не должна превосходить $\varepsilon_{\text{пр}}$ — величину, которая зависит от типа укладки и определяется из табл. 13.

Таблица 13

n	1	3	4	5	6	7	13	19
$\varepsilon_{\text{пр}}$	1,00	0,452	0,541	0,539	0,495	0,712	0,612	0,756

Определив величину ε, можно, зная размеры шашки из выражений (1)—(3), определить относительный вес порохового заряда

$$C_\omega = \frac{\omega}{D_{\text{н}}^3} = \frac{\pi}{4}(\overline{D}^2 - \overline{d}^2)\,\overline{L}\,n\delta. \qquad (6)$$

Относительный вес реактивной каморы

$$C_{qp} = \frac{q_p}{D_{\text{н}}^3} = \frac{\pi}{4}(1 - B^2)\,\overline{L}\,\gamma\,k. \qquad (7)$$

Максимальная скорость по Циолковскому

$$V_{\max} = U_e \ln\left(1 + \frac{\omega}{q}\right] = U_e \ln\left(1 + \frac{C\omega}{C_{q\text{б}} + C_{qp}}\right). \qquad (8)$$

При выбранных значениях B, γ, $C_{q\text{б}}$ и т. д. скорость, определяемая по формуле (8), будет максимально возможной; любой другой пороховой заряд будет сообщать снаряду меньшую скорость.

Используя приведенные выше зависимости, можно для определенных выбранных условий подсчитать получающуюся максимальную скорость, как функцию длины порохового заряда. Например, на рис. 123 изображены кривые $V_{\max} = f(\overline{L})$, построенные для различных укладок по следующим данным:

$\sigma_p = 4500$ кг/см²;

$p'_{\max} = 300$ кг/см²;

$C_{q\text{б}} = 10$; $\varkappa_{\text{пр}} = 160$.

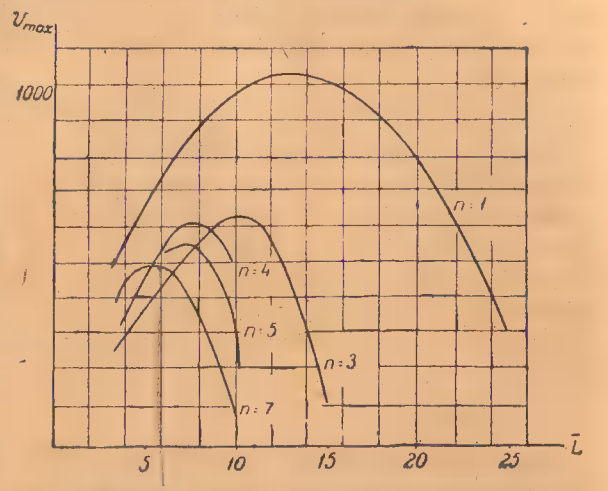


Рис. 123. Зависимость между максимальной скоростью и длиной заряда для различных типов укладки.

Из рассмотрения этих кривых можно сделать следующие важные для практики выводы:

1. Каждая кривая имеет оптимум, причем значение $\overline{L}$, отвечающее оптимуму, определяется по величине $\varepsilon = f(N)$, соответствующей неограниченной длине заряда. Естественно, что практически длина порохового заряда должна быть равна или меньше $\overline{L}_{\text{опт}}$.

2. Во всех случаях максимум скорости пологий. Поэтому во многих случаях практики целесообразнее отступить от оптимальной длины порохового заряда и, потеряв немного в скорости, уменьшить длину снаряда, тем самым повысив его эксплоатационные качества, уменьшив стоимость изготовления и вес порохового заряда.

3. При любых значениях $\overline{L}$ наибольшая скорость достигается при одношашечных зарядах.

4. Многошашечные заряды имеют свои границы применимости. Наивыгоднейшими типами укладки являются:

при $\overline{L} < 5{,}5$ — семишашечная или девятнадцатишашечная;

при $\overline{L} = 6 \div 8$ — четырехшашечная;

при $\overline{L} > 8$ — трехшашечная.

При других значениях $C_{q\text{б}}$, $\varkappa$, σ_p, $p'_{\max}$ эти границы применимости могут незначительно изменяться.

5. Для турбореактивных снарядов, общая длина которых из условий устойчивости не превышает 7—8 калибров, а длина реак-

тивной части не превышает 4—5 калибров, следует применять либо одношашечный заряд (там, где не требуется высокая кучность), либо не менее семи шашек.

6. Чем меньше шашек в заряде, тем больше максимальное значение скорости, определяемой по Циолковскому. Наибольшая скорость при трехшашечном заряде больше, чем при четырехшашечном; при четырехшашечном заряде больше, чем при пятишашечном, и т. д. Это обстоятельство должно быть учтено при проектировании порохового заряда с заданной толщиной горящего свода. Может оказаться, что при заданных размерах каморы наивыгоднейший пороховой заряд из семи шашек будет иметь слишком большую толщину горящего свода. Уменьшение толщины горящего свода может быть получено либо переходом к другой укладке, имеющей большее (например 13 или 19) число шашек, либо уменьшением размера шашек семишашечного заряда. Хотя во втором случае размеры шашек будут не наивыгоднейшие, может оказаться, что скорость при таком заряде будет большей, чем при заряде, состоящем из 13 или 19 шашек и имеющем наивыгоднейшие размеры шашки.

2. Пороховой заряд с ограниченным временем горения

При проектировании порохового заряда в противотанковых системах, в стартовых каморах и в некоторых других случаях время горения порохового заряда ограничено, что при выбранном давлении определяет толщину горящего свода. В подобных пороховых двигателях применяются тонкосводные пороха, выполняемые обычно—либо в форме тонкосводных цилиндрических шашек, либо в форме телескопического или рулонного порохового заряда, либо в форме прогрессивных порохов сложной формы, описанных ранее (§ 4, рис. 7).

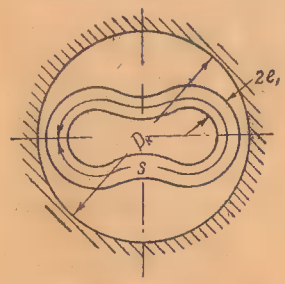


Рис. 124. К расчету порохового заряда с заданной толщиной горящего свода $2e_1$.

Здесь будет изложен метод расчета порохового заряда любой формы по заданной толщине горящего свода. Толщина горящего свода по всему периметру пороховой шашки, имеющей произвольную форму (рис. 124), постоянна и равна $2e_1$, длина среднего периметра шашки равна S.

Сумма наружного и внутреннего параметров равна $2S$.

Для рассчитываемого порохового заряда имеются следующие зависимости:

вес порохового элемента

$$\omega = S\,2e_1\,L\delta; \qquad (9)$$

величина параметра заряжания

$$\varkappa = \frac{2SL}{F_к - 2e_1 S}; \qquad (10)$$

максимально допустимая длина порохового заряда

$$L = \frac{F_к - 2e_1 S}{2S}\,\varkappa = \varkappa\left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right). \qquad (11)$$

Подставляя значение L из уравнения (11) в уравнение (9), получим

$$\omega = 2e_1\,\delta\varkappa S\left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right). \qquad (12)$$

Пассивный вес снаряда $q = q_б + q_р$.

В пассивный вес $q_б$ входит вес собственно боевой части и деталей порохового двигателя, не зависящих от длины порохового заряда (диафрагма, сопло и т. д.). Пассивный вес $q_р$ пропорционален длине порохового заряда

$$q_р = aL,$$

где

$$a = \frac{\pi}{4}\left(D_н^2 - D_к^2\right)k\gamma,$$

т. е. a — вес реактивной каморы, приходящийся на единицу длины порохового заряда.

Максимальная скорость будет получаться в том случае, если в формуле Циолковского величина $\frac{\omega}{q}$ будет наибольшей.

Итак, будем иметь окончательно

$$\frac{\omega}{q} = \frac{\omega}{q_б + q_р} = \frac{2e_1\,\delta\cdot\varkappa\cdot S\left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right)}{q_б + aL} =$$

$$= \frac{2e_1\,\delta\cdot\varkappa\left(\frac{F_к}{2} - e_1 S\right)}{q_б + a\cdot\varkappa\cdot\left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right)}. \qquad (13)$$

Принимая толщину горящего свода заданной, дифференцируя уравнение (13), получим

$$\frac{d\left(\frac{\omega}{q}\right)}{dS} =$$

$$= 2e_1\delta \cdot \varkappa \cdot \frac{-\left[q_б + a\varkappa\left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right)\right]e_1 + \left(\frac{F_к}{2} - e_1 S\right)a\varkappa\,\frac{F_к}{2S^2}}{\left[q_б + a\varkappa\left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right)\right]^2}.$$

Приравнивая производную

$$\frac{d\left(\frac{\omega}{q}\right)}{dS}$$

нулю, определим значение периметра S, при котором скорость будет максимальной.

Итак, будем иметь

$$q_б + a\varkappa\left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right) = \left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right)a\varkappa\,\frac{F_к}{2e_1 S}$$

или

$$q_б = \left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right)a\varkappa\left(\frac{F_к}{2e_1 S} - 1\right) = \frac{a\varkappa}{e_1}\left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right)^2,$$

окончательно

$$\frac{F_к}{2S} = e_1 + \sqrt{\frac{q_б\, e_1}{a\varkappa}}. \qquad (14)$$

Длина периметра, при которой получается максимальная скорость,

$$S = \frac{F_к}{2\left(e_1 + \sqrt{\frac{q_б\, e_1}{a\varkappa}}\right)}. \qquad (15)$$

Подставляя значение

$$\frac{F_к}{2S} - e_1$$

из уравнения (11) в уравнение (14), получим длину порохового заряда, при которой получается максимальная скорость

$$L = \left(\frac{F_к}{2S} - e_1\right)\varkappa = \varkappa\sqrt{\frac{q_б\, e_1}{a\varkappa}} = \sqrt{\frac{q_б\, e_1\,\varkappa}{a}}. \qquad (16)$$

В некоторых случаях для исследований удобно иметь размеры порохового заряда, выраженные в относительных размерах.

Обозначим

$$\bar{e}_1 = \frac{e_1}{D_н}$$

и

$$a = \frac{\pi}{4} D_н^2 (1 - B^2)\gamma k.$$

Подставляя значения $\bar{e}_1$ и a в уравнения (15 и 16), получим

$$\bar{S} = \frac{S}{D_н} = \frac{\pi B^2}{8\left(\bar{e}_1 + \sqrt{\frac{4C_{qб}\,\bar{e}_1}{\pi(1 - B^2)\gamma k}}\right)}; \qquad (17)$$

$$\bar{L} = \frac{L}{D_н} = \frac{\sqrt{\frac{q_б \cdot e_1\,\varkappa}{a}}}{D_н} = \sqrt{\frac{C_{qб}\,\bar{e}_1 \cdot \varkappa \cdot 4}{\pi(1 - B^2)\gamma k}}. \qquad (18)$$

Относительный вес порохового заряда

$$C\omega = \frac{\omega}{D_н^3} = 2\,\bar{e}_1\,\bar{S}\,\bar{L}\delta. \qquad (19)$$

Относительный вес реактивной каморы

$$C_{qр.} = \frac{aL}{D_н^3} = \frac{\pi}{4}(1 - B^2)\gamma k\bar{L}. \qquad (20)$$

Максимальная скорость может быть определена по формуле (8).

Имея заданную величину горящего свода $2e_1$, по формуле (15) находим величину периметра S, которая определяет максимальную скорость снаряда. По величинам S и $2e_1$ можно конструировать пороховой заряд любой формы. При этом необходимо следить за тем, чтобы в получившихся конфигурациях $\varkappa_{кан}$ находилось в определенном назначенном соотношении с $\varkappa_{нар}$.

В заключение укажем, что при проектировании порохового заряда наибольший коэффициент наполнения получается при числе шашек, составляющих ряд $n = 1, 7, 19, 37, 61...$, определяемый формулой

$$n = 1 + 6\sum_0^к k = 1 + 3(k + k^2), \qquad (21)$$

где k — любое целое число.

§ 25. ВЫБОР НАИВЫГОДНЕЙШЕГО ДАВЛЕНИЯ В РЕАКТИВНОЙ КАМОРЕ

Выбор наивыгоднейшего давления в каморе реактивного снаряда является одной из ответственнейших задач. Большое влияние давления на отдельные параметры порохового двигателя и на процессы горения в большой мере определяет тактико-технические свойства снаряда.

Уменьшение давления в реактивной каморе приводит к следующему:

1) позволяет уменьшить толщину стенок реактивной каморы, уменьшить ее вес и тем самым повысить скорость снаряда;

2) уменьшает единичный импульс порохового заряда;

3) увеличивает время горения порохового заряда, что в ряде случаев может привести к ухудшению кучности;

4) увеличивает теплопотери в реактивной каморе;

5) уменьшает предельную величину параметра заряжания $\varkappa$, что уменьшает вес заряда и приводит к уменьшению скорости;

6) при ограниченном времени горения уменьшает допускаемую толщину горящего свода, тем самым уменьшается плотность заряжания и скорость реактивного снаряда;

7) в некоторых случаях приводит к аномальному горению порохового заряда.

Большое разнообразие перечисленных выше факторов, невозможность их определения в ряде случаев точными математическими зависимостями — ставит под сомнение возможность однозначного математического определения наивыгоднейшего давления в проектируемом снаряде.

Целесообразно анализировать и давать рекомендации для выбора оптимального давления в реактивной каморе к следующим типам снарядов:

1) снаряды, при проектировании которых желательно получить максимальную скорость;

2) снаряды, при проектировании которых желательно получить максимальную дальность;

3) снаряды с тонкосводным пороховым зарядом, время горения которого ограничено сравнительно небольшой величиной.

При выборе оптимального давления в реактивной каморе снаряда, у которого желательно повысить максимальную скорость, возможно (учитывая при изменении давления изменение веса реактивной каморы, единичного импульса и параметра заряжания $\varkappa$) построить кривые $v_{max} = f(P)$, изображенные на рис. 125[1]. Если учесть температурные зависимости для существующих порохов,

[1] А р ш, «Основные вопросы проектирования реактивных зарядов», изд. Артакадемии.

а также увеличение теплопотерь при уменьшении давления, то оптимальным давлением для данного типа снарядов следует считать

$$p_0 = 100 \text{ кг/см}^2$$

и

$$p'_{max} = 150 \text{ кг/см}^2$$

при $t = 15°C$.

Анализ влияния давления на максимальную дальность реактивных снарядов показывает, что хотя скорость реактивных снарядов значительно повышается с уменьшением давления, однако заметного повышения дальности не происходит, а в некоторых случаях имеется даже уменьшение дальности. Это объясняется увеличением баллистического коэффициента снаряда при уменьшении толщины стенок каморы. Из графиков, приведенных в § 26, следует, что уменьшение давления для увеличения дальности целесообразно только в снарядах больших калибров. Для снарядов калибром менее 200 мм уменьшать расчетное давление в каморе ниже чем 200 кг/см² нецелесообразно.

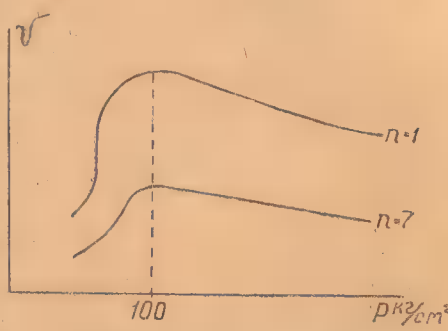


Рис. 125. Зависимость между максимальной скоростью и давлением в реактивной каморе.

Выбор оптимального давления в реактивной каморе при ограниченном времени горения порохового заряда (к этой группе относятся противотанковые реактивные снаряды и стартовые пороховые двигатели) производится главным образом с точки зрения получения необходимой кучности или заданной стартовой скорости. При расчете стартового тонкосводного порохового заряда следует иметь в виду ту особенность, что, в противоположность обычным пороховым зарядам, при тонкосводных порохах увеличение давления в каморе в ряде случаев может привести к увеличению стартовой скорости. Объясняется это тем, что при увеличении давления увеличивается допускаемая толщина горящего свода и, следовательно, увеличивается плотность заряжания. Практические расчеты, проведенные над некоторыми стартовыми каморами, показали, что это оптимальное давление должно лежать в пределах 400—600 кг/см² при $t = 15°C$.

Выбор оптимального давления в реактивной каморе противотанкового снаряда следует производить, учитывая требуемую кучность. Известно, что кучность реактивных снарядов с тонкосводным пороховым зарядом резко падает при уменьшении температуры заряда или, что одно и то же, при уменьшении давления. Поэтому необходимо выбирать такое давление в реактивной каморе, при котором кучность в условиях низких температур будет приемлемой; дальнейшее увеличение давления нецелесообразно, так как приведет к уменьшению дальности снаряда и увеличению его стоимости. Оптимальное давление в реактивной каморе противотанковых снарядов лежит в диапазоне 300—600 кг/см², при $t = 15°C$.

§ 26. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ НАЗЕМНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

1. Общие положения

Предельная дальность любого реактивного снаряда зависит от длины активного участка траектории, угла бросания θ_0, баллистического коэффициента c и максимальной скорости снаряда в конце активного участка траектории. Можно показать, что при сравнительных исследованиях предельных дальностей реактивных снарядов вполне достаточно рассматривать мгновенное сгорание реактивного заряда [1]. Тем самым мы, с одной стороны, не учитываем длины активного участка, а с другой стороны, не учитываем потерь в максимальной скорости на активном участке траектории, зависящих от сопротивления воздуха и действия силы тяжести. Итак, будем считать

$$X = f(\theta_0,\ c,\ v_{max}).$$

Зависимости максимальной дальности реактивных снарядов от угла бросания θ_0 могут быть приняты аналогичными зависимостям, существующим в ствольной артиллерии. Известно, что угол наибольшей дальности для артиллерийских снарядов колеблется в пределах 43—55°. Известно также, что изменение угла бросания от угла наибольшей дальности на $\pm 5°$ незначительно уменьшает дальность. Поэтому сравнительные расчеты дальностей для различных снарядов вполне достаточно производить при $\theta_0 = 45°$. Для получения наибольших дальностей (при прочих равных условиях) необходимо, чтобы величина баллистического коэффициента была меньшей. Баллистический коэффициент

$$c = \frac{iD_н^2}{q} \cdot 1000\ ,$$

[1] Шапиро и Замковец, «Анализ методов увеличения дальности и кучности пороховых реактивных снарядов», изд. Артакадемии, НИР, 1948 г.

зависит от формы снаряда и от величины поперечной нагрузки.

По данным опытных продувок и обработки стрельб, коэффициент формы существующих реактивных снарядов равняется:

для оперенных снарядов $i_{Сиаччи} = 0{,}8 - 1{,}0$,

для турбореактивных снарядов $i_{Сиаччи} = 0{,}8 - 0{,}9$.

Используя аналогию с артиллерийскими снарядами, можно утверждать, что имеется возможность для уменьшения коэффициента формы реактивных снарядов. Однако, пока новые более рациональные формы в реактивных снарядах не отработаны, будем для исследования принимать:

для реактивных оперенных снарядов $i_{Сиаччи} = 0{,}9$;

для турбореактинных санрядов $i_{Сиаччи} = 0{,}85$.

Для уменьшения баллистического коэффициента необходимо увеличивать поперечную нагрузку, что достигается максимально возможным удлинением снаряда и приданием ему такой конструктивной формы, при которой поперечное сечение снаряда по всей его длине оставалось бы неизменным.

Поэтому в своих дальнейших расчетах будем рассматривать наиболее удлиненные снаряды. Для оперенных реактивных снарядов длина их может быть равной 20—25 калибрам и определяется главным образом удобством в служебном обращении и достаточной жесткостью. Максимальная длина турбореактивных снарядов определяется их устойчивостью на траектории и может быть равной 7—8 калибрам. Формы реактивных снарядов, у которых боевая часть и реактивная камора имеют различный диаметр (например, М-31), при стрельбе на большие дальности применять нецелесообразно.

Если, при прочих равных условиях, к реактивному снаряду спроектировать наилучший пороховой заряд, то он сообщит ему максимальную скорость, а следовательно, и максимальную дальность. Поэтому анализ предельных дальностей реактивных снарядов следует связывать с выбором наивыгоднейшего порохового заряда по зависимостям, установленным нами в § 24.

Анализ предельных дальностей также необходимо вести для двух случаев — для реактивных снарядов, длина которых не ограничена, и для реактивных снарядов ограниченной длины.

2. Методика анализа дальностей снарядов неограниченной длины

После того, как мы задались числом шашек в реактивной каморе, материалом, давлением, параметром заряжания $\varkappa$ и относительным весом боевой части $C_{qб}$, используя формулы (1а—3а и 6—8), возможно определить почти все параметры снаряда, выраженные в относительных величинах. Кроме ранее определенных величин (размеров шашки, относительного веса порохового заряда, относительного веса реактивной каморы), можно также определить относительный вес всего снаряда

$$C_Q = C_{q\text{б}} + C_{q\text{р}} + C_\omega,$$

и длину снаряда, которая определяется по полуэмпирической формуле

$$\overline{L}_{\text{сн}} = k\,\overline{L} + \frac{C_{q\text{б}}}{3}$$

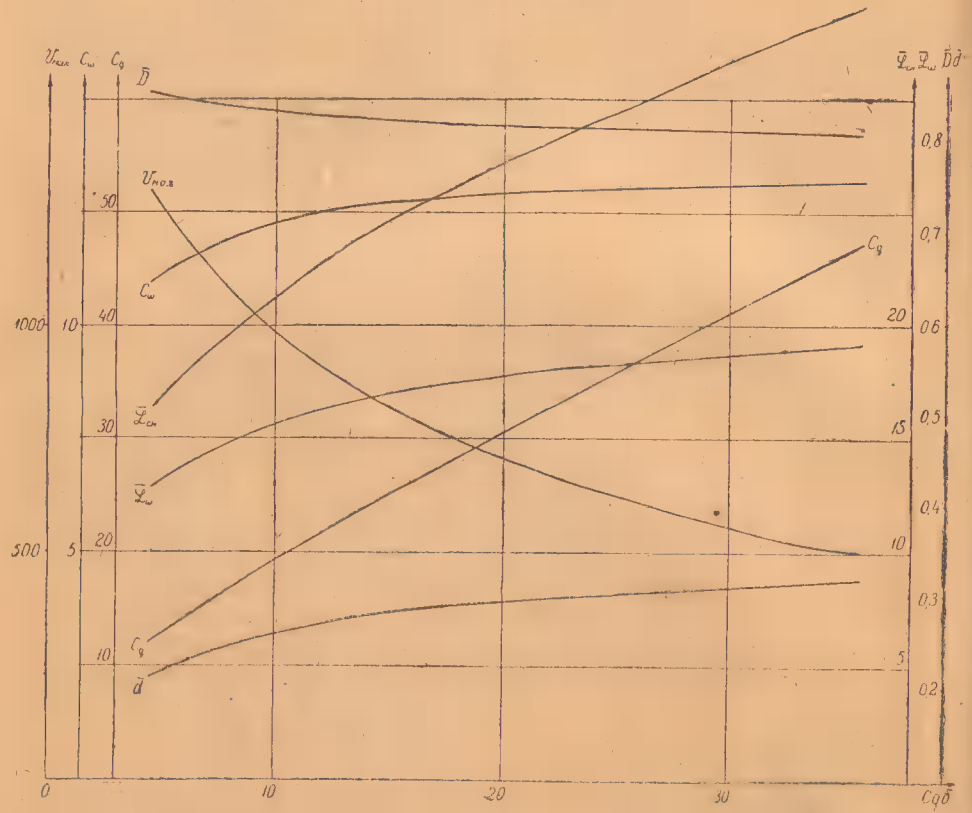


Рис. 126. Оптимальные характеристики снаряда при различных Cq^{6}.

На рис. 126 показаны относительные величины снаряда и его скорость в функции $C_{q\text{б}}$, расчитанные для следующих условий[1]:

$$n = 1;\quad \sigma_{\text{р}} = 4500\ \text{кг/см}^2;\quad p'_{\max} = 200\ \text{кг/см}^2;$$

$$\varkappa = 240;\quad I_1 = 200\ \frac{\text{кг}\cdot\text{сек}}{\text{кг}}.$$

[1] По последним опытным данным единичный импульс для толстосводных одношашечных зарядов следует принять ≈ 190 вместо 200, для которых построены графики 126—127.

Если теперь при определенном значении $C_{q\text{б}}$ задаться калибром снаряда, то все относительные размеры снаряда могут быть пересчитаны в абсолютные размеры и, кроме того, может быть определен баллистический коэффициент снаряда

$$c = \frac{i\cdot D_{\text{н}}^2}{q}\cdot 1000 = \frac{i\cdot 1000}{C_q D_{\text{н}}} = \frac{i\cdot 1000}{(C_{q\text{б}} + C_{q\text{р}})\cdot D_{\text{н}}}.$$

Теперь окончательно можно определить дальность снаряда. Важно отметить, что рассчитанный таким образом снаряд является наилучшим, так как пороховой заряд его выбран оптимальным.

Сделав ряд расчетов для различных калибров и различных значений $C_{q\text{б}}$, можно построить семейство кривых $X = f(D_{\text{н}}, C_{q\text{б}})$, связывающих две важнейшие характеристики снаряда, а именно, его дальность и могущество.

На рис. 127 приведены кривые $X = f(D_{\text{н}}, C_{q\text{б}})$, построенные для условий:

$$n = 1;$$

$$\sigma_{\text{р}} = 4500\ \text{кг/см}^2;$$

$$\varkappa = 240;$$

$$p'_{\max} = 200\ \text{кг/см}^2.$$

Рассмотрение этих кривых позволяет сделать следующие выводы:

1. Для каждого калибра имеется определенное значение $C_{q\text{б}}$, при котором дальность снаряда получается максимальной;

2. Значение $C_{q\text{б}}$, при котором получается максимальная дальность, лежит в пределах для

малых калибров	$D_{\text{н}} = 80$—125 мм	— $C_{q\text{б}} = 12$—15
средних калибров	$D_{\text{н}} = 125$—200 мм	— $C_{q\text{б}} = 8$—12
больших калибров	$D_{\text{н}} = 250$—400 мм	— $C_{q\text{б}} = 5$—6.

3. Предельная дальность оперенных реактивных снарядов с одношашечными зарядами, по сравнению с существующими штатными снарядами, может быть повышена в 2—2,5 раза.

4. Оптимум дальности получается весьма пологим, поэтому можно, незначительно отступив от максимальной дальности, повысить значение $C_{q\text{б}}$ и, следовательно, могущество снаряда (при этом длина снаряда, естественно, увеличивается).

Используя приведенную методику, легко исследовать влияние других факторов на дальность реактивного снаряда, а именно: числа шашек в заряде, давления в реактивной каморе, характеристикам (прочности и удельного веса) материала реактивной каморы и т. д.

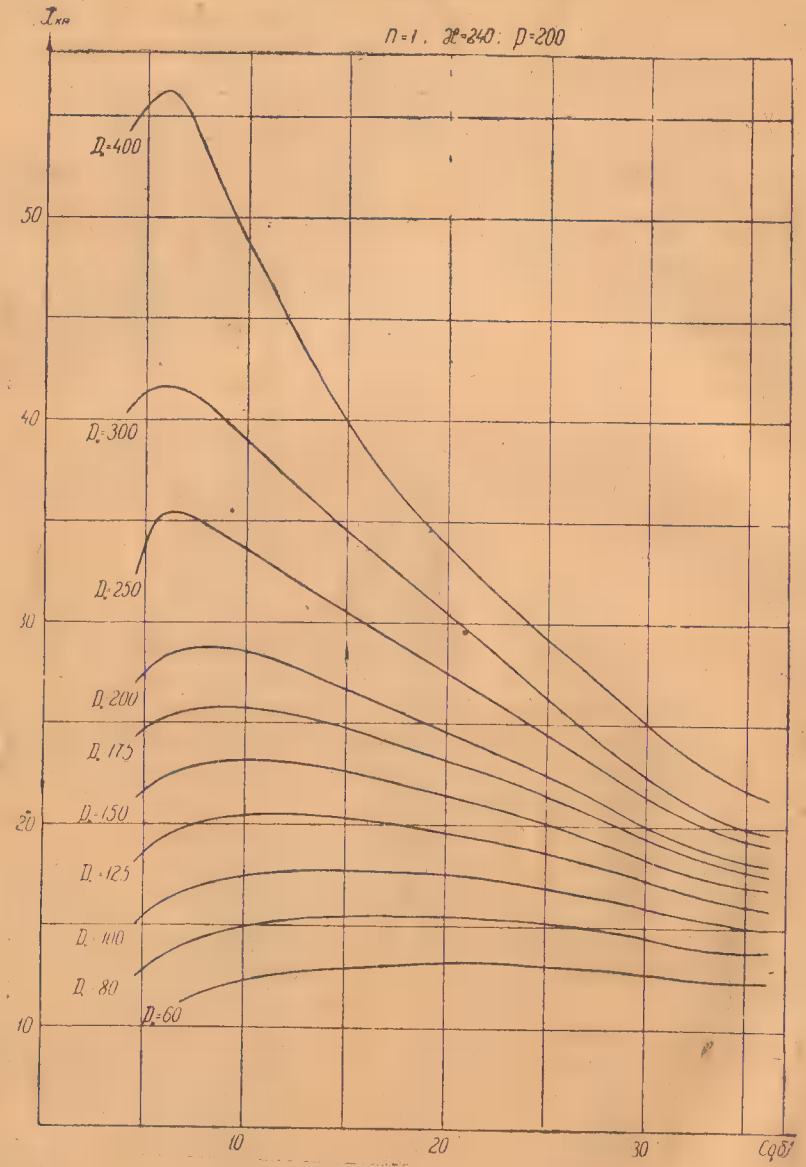


Рис. 127. Максимальные дальности при одношашечных зарядах.

Приведем здесь только окончательные выводы.

1. При применении многошашечных зарядов дальность снарядов резко падает (в 2 — 3 раза), причем особенно сильно при больших значениях $C_{qб}$. Только для малых калибров (до 100 — 120 мм) имеется оптимум дальности. При всех калибрах падение дальности с увеличением $C_{qб}$ при многошашечных зарядах более резкое, чем при одношашечных.

2. Поскольку величина давления в реактивной каморе и прочность материала входят в расчетные формулы не самостоятельно, а через коэффициент B, то уменьшение давления в реактивной каморе почти идентично увеличению прочности материала каморы. Расчеты показали, что для увеличения дальности применение низких давлений и высокопрочных материалов для изготовления каморы целесообразно при одношашечных зарядах только для калибров свыше 200 мм. Применение низких давлений при многошашечных зарядах дает значительное увеличение дальности.

3. Методика анализа дальностей снарядов ограниченной длины

Анализ дальностей снарядов ограниченной длины удобно произвести на примере турбореактивного снаряда, длина которого ограничена 7—8 калибрами. Если длина снаряда выбрана, то увеличение значения $C_{qб}$ ведет к уменьшению длины реактивной каморы и, следовательно, к уменьшению мощности порохового двигателя и скорости снаряда.

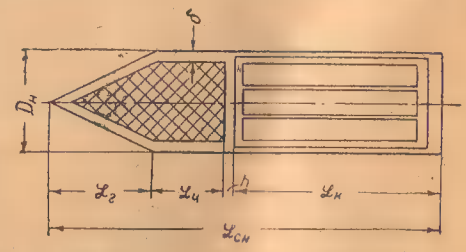


Рис. 128. Схема турбореактивного снаряда.

На рис, 128 изображена схема турбореактивного снаряда осколочно-фугасного и фугасного действия. При этом отдельные элементы снаряда могут быть или подсчитаны по элементарным формулам, или приняты равными величинам, указанным в табл. 13а.

Теперь, если задаться величиной $\overline{L}_ц$ (длина в калибрах цилиндрической боевой части снаряда), то можно определить значения $C_{qб}$, $\overline{L}_к$, $C_{qк}$, и, приняв определенное соотношение между длиной каморы и пороховым зарядом, можно определить длину порохового заряда. Задавшись типом укладки, давлением в каморе, допускаемым напряжением $\sigma_р$, параметром заряжания $\varkappa$, можно, пользуясь уравнением (5), определить коэффициент заполнения ε и далее—величину $C_ω$.

Затем, используя уравнение (8) определяем максимальную скорость снаряда. Задавшись калибром снаряда и определив баллистический коэффициент, определяем дальность снаряда.

Таблица 13а

Наименование	Осколочно-фугасный снаряд	Фугасный снаряд
Толщина стенки δ	$0{,}1\ D_н$	$0{,}02\ D_н$
Длина головной части $L_г$	$\approx 2\ D_н$	$1{,}5\ D_н$
Вес доньев и турбинки	$1.\ D_н^3$	$1.\ D_н^3$
Длина каморы /относит./	$\overline{L}_к \approx \overline{L}_{сн} - \overline{L}_ц - \overline{L}_г$	$\approx \overline{L}_{сн} - \overline{L}_ц - \overline{L}_г$
Относительный вес боевой части $C_{qб}$	$3{,}75 + 3.\overline{L}_ц$	$2 + 1{,}75.\ \overline{L}_ц$
Относительный вес реактивной каморы $C_{qр}$	$\frac{\pi}{4}(1 - B^2)\gamma\,\overline{L}_к$	$\frac{\pi}{4}(1 - B^2)\gamma\,\overline{L}_к$

На рис. 129 и 130 приведены кривые $X = f(C_{qб}, D_н)$ для фугасных, осколочно-фугасных турбореактивных снарядов, имеющих длину 7 калибров, давление в каморе 300 кг/см², прочность материала $\sigma_р = 4500$ кг/см², число шашек $n = 7$, параметр заряжания $\varkappa = 200$.

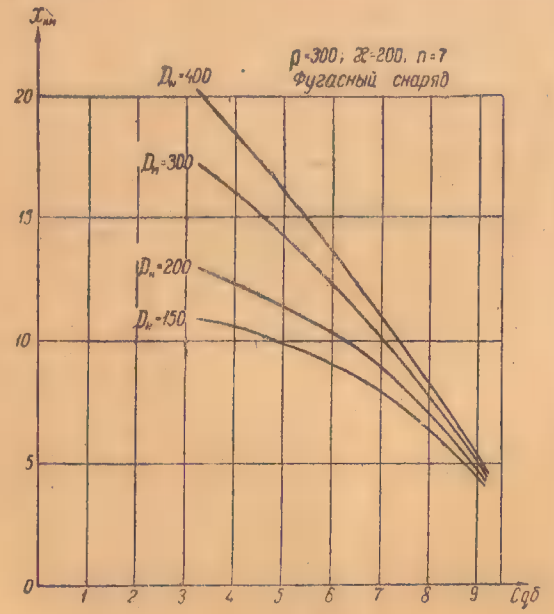


Рис. 129. Дальности турбореактивных снарядов

На рис. 129 и 130 видно, что дальности турбореактивных снарядов, существенно зависят от величины $C_{qб}$. Для малых калибров ($\approx$ 100 мм) увеличение $C_{qб}$ вдвое ведет к уменьшению дальности в два раза; для больших калибров ($\approx$ 400 мм) увеличение $C_{qб}$ вдвое приводит к уменьшению дальности в три раза.

Вполне очевидно, что облегчение каморы такого снаряда путем уменьшения давления в каморе, применение более легкого и прочного материала весьма благоприятно скажется на дальности турбореактивного снаряда.

Подобной методикой могут быть исследованы снаряды любой длины, например, оперенные снаряды длиною 15 — 20 калибров. В зависимости от принятой длины снаряда и типа укладки вид кривых $X = f(D_н, C_{qб})$ будет приближаться к аналогичным кривым снарядов либо ограниченной, либо неограниченной длины.

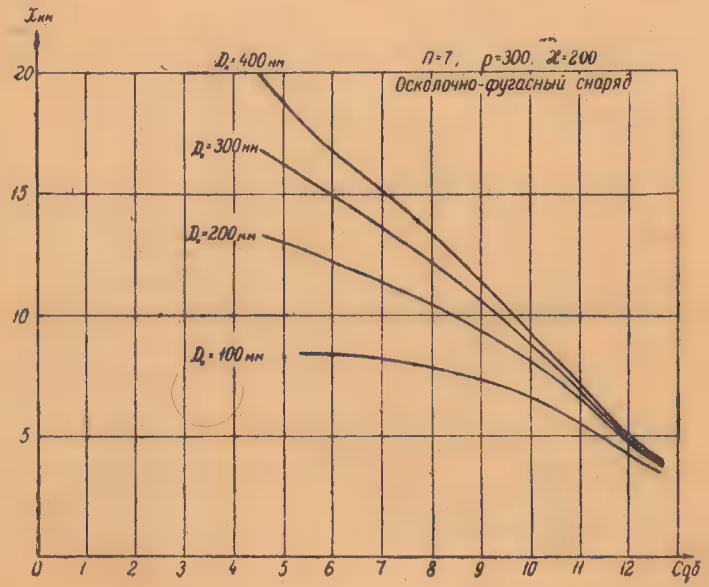


Рис. 130. Дальности турбореактивных снарядов.

§ 27. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДАЛЬНОСТИ ПРОТИВОТАНКОВЫХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Как известно, одним из важнейших недостатков существующих конструкций реактивных противотанковых ружей является малая дальность прямого выстрела. Поэтому одной из первоочередных задач является анализ факторов, позволяющих увеличить дальность прямого выстрела. Методика исследования возможной дальности прямого выстрела отличается от методики исследования наибольших дальностей снарядов наземной артиллерии, изложенной в предыдущем параграфе, рядом существенных особенностей, главнейшими из которых являются следующие:

1. Траектории при подобных стрельбах характеризуются малыми углами прицеливания ($< 3°$) и относительно небольшими дальностями.

2. При определении дальности прямого выстрела, получающейся при выбранных параметрах снаряда, необходимо подсчитывать также и кучность снаряда, так как при стрельбе по танкам требование необходимой кучности является первоочередным. Подсчет кучности связан с определением длины активного участка, а следовательно, и с выбором допускаемой толщины горящего свода.

3. Как будет показано ниже, дальность прямого выстрела прямо пропорциональна или почти прямо пропорциональна максимальной скорости снаряда. Поэтому возможно, вместо анализа дальности, проводить анализ факторов, влияющих на максимальную скорость противотанковых снарядов. Известно, что максимальная ско-

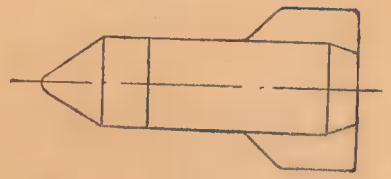


Рис. 131. Схема противотанкового снаряда (калибр каморы равен калибру боевой части).

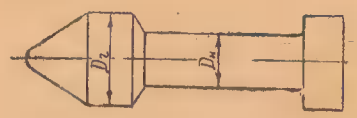


Рис. 132. Схема противотанкового снаряда (калибр каморы меньше калибра боевой части).

рость любых реактивных снарядов в сильной степени зависит от относительного веса боевой части $C_{qб}$. Для реактивных противотанковых снарядов величина $C_{qб}$ тесно связана с конструкцией снаряда.

Принципиальные схемы конструкции противотанковых реактивных снарядов изображены на рис. 131—133. На рис. 131 изображена схема противотанкового реактивного снаряда, у которого калибр боевой и реактивной частей одинаков. По такой схеме устроен противотанковый снаряд «Панцерблитц» (рис. 115), идущий для вооружения самолетов. В противотанковой артиллерии по такой схеме снаряды не строились, так как при этом необходимо иметь либо турбореактивный снаряд, что ведет к значительному снижению кумулятивного эффекта, либо выстреливание снаряда производить из специальной, достаточно сложной и громоздкой направляющей. Однако при такой схеме значение $C_{qб}$ может быть наименьшим (порядка 4—5), а поэтому возможно достижение максимальной дальности прямого выстрела.

На рис. 132 изображена схема противотанкового реактивного снаряда, по которой выполнено большинство конструкций существующих противотанковых снарядов. Соотношения между диаметрами $D_н$ и $D_г$ колеблются в сравнительно узких пределах, так как, с одной стороны, невыгодно уменьшать $D_н$, поскольку при этом уменьшается мощность порохового двигателя и, следовательно, уменьшается дальность прямого выстрела, а, с

другой стороны, увеличение $D_н$ ведет к „затемнению“ стабилизатора, ухудшению устойчивости снаряда на полете и ухудшению его кучности. Аэродинамические продувки показывают, что не рекомендуется делать $D_н$ более $0{,}6\,D_г$.

Следовательно, интересующая нас величина относительного веса боевой части снаряда

$$C_{qб} = \frac{q_б}{D_н^3} = \frac{q_б}{(0{,}6 \cdot D_г)^3}.$$

В существующих конструкциях противотанковых реактивных снарядов величина $C_{qб}$ равняется для:

РБГ-82 ≈ 28;
гранаты „Оффенрор“ ≈ 23;
„Фаустпатрона“ ≈ 11.

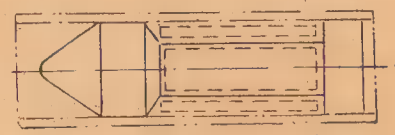


Рис. 133. Схема комбинированного противотанкового снаряда.

Рассмотрение конструкции боевой части РБГ-82 показывает, что толщина стенок корпуса боевой части взята завышенной, а поэтому получилось слишком большое значение $C_{qб}$, что значительно снижает дальность прямого выстрела. При рационально сконструированной боевой части с кумулятивным зарядом можно (при калибрах 100—150 мм) снизить значение $C_{qб}$ до 10—15.

Разберем еще схему противотанкового снаряда (рис. 133), по которой построена опытная быстрогорящая мина фирмы «Рейнметалл-Борзиг» (рис. 85). Ранее уже указывался недостаток подобной схемы — недостаточная стойкость оперения при прохождении через него мощной струи пороховых газов. При устранении этого недостатка подобная схема имеет ряд достоинств. Укажем на возможность использования комбинированного заряда: снаружи каморы — тонкосводного порохового заряда, сгорающего в пусковой трубе и обеспечивающего необходимую стартовую скорость для получения заданной кучности, а внутри реактивной каморы — толстосводного порохового заряда, сообщающего снаряду повышенную скорость.

Покажем, что расчет дальности прямого выстрела при пологих траекториях может быть произведен на основе параболической теории, что в большой степени упрощает все расчеты.

При малых углах прицеливания можно принять $\cos\theta_0 = 1$.

Следовательно,

$$X = \frac{2v^2_0 \cos^2\theta_0 \operatorname{tg}\theta_0}{g} \approx \frac{2v^2_0 \operatorname{tg}\theta_0}{g}. \qquad (22)$$

Но так как

$$Y = \frac{X \operatorname{tg} \theta_0}{4}$$

или

$$\operatorname{tg} \theta_0 = \frac{4Y}{X}, \qquad (23)$$

то, подставляя значение $\operatorname{tg} \theta_0$ из уравнения (23) в (22), получим

$$X = v_0 \sqrt{\frac{8Y}{g}};$$

и при высоте цели

$$Y = 2 \text{ м}$$

и

$$g = 9{,}81 \text{ м/сек}^2,$$

получим

$$X = v_0 \sqrt{\frac{8.2}{9{,}81}} = 1{,}28\, v_0.$$

Учитывая некоторое сопротивление воздуха, обычно принимают дальность прямого выстрела

$$X = 1{,}25\, v_0. \qquad (24)$$

Сравним полученную дальность прямого выстрела с дальностью прямого выстрела при учете сопротивления воздуха.

Высота траектории с учетом сопротивления воздуха определяется формулой [1]

$$Y = \left[\frac{gX}{2v_0^2} + \frac{gX^2}{3v_{ср}^3} c\, G(v_{ср})\right] x - \frac{gx^2}{2v_0^2} - \frac{gx^3}{3v_{ср}^3} c\, G(v_{ср}). \qquad (25)$$

Для рассчитываемых нами коротких траекторий вполне достаточно принять

$$x_s = x = \frac{X}{2}.$$

Следовательно, получим

$$Y = \frac{gX^2}{8v_0^2} + \frac{gX^2}{8v_{ср}^3} c\, G(v_{ср})$$

[1] Шапиро Я. М., Внешняя баллистика, стр. 97, Воениздат.

или

$$X^2 = \frac{8v_0^2}{g}\left[Y - \frac{gX^3}{8v_{ср}^2} c\, G(v_{ср})\right].$$

Дистанция прямого выстрела с учетом сопротивления воздуха

$$X = v_0 \sqrt{\frac{8Y}{g}\left[1 - \frac{gX^3}{8Y \cdot v_{ср}^3} c\, G(v_{ср})\right]}.$$

Разлагая подкоренное выражение в ряд, получим

$$X = v_0 \sqrt{\frac{8Y}{g}}\left[1 - \frac{gX^3}{16Y \cdot v_{ср}^3} c G(v_{ср})\right].$$

Второй член выражения в скобках является поправочной величиной, а потому мы можем оценить его приближенно.

Итак, отношение дальности прямого выстрела (с учетом сопротивления воздуха) к дальности прямого выстрела, определенного по параболической теории, будет

$$\frac{X_{возд.}}{X_{параб.}} = 1 - \frac{gX^3 \cdot c \cdot G(v_{ср})}{16Y \cdot v_{ср}^3}. \qquad (27)$$

Для подобного рода снарядов баллистический коэффициент $c \approx 1{,}2 - 2$; примем $c = 2$.

Приняв $X = 1{,}25\, v_0$, определив затем v_C по формуле

$$D(v_C) = cx + D(v_0),$$

и, наконец, $v_{ср}$, можно определить величину поправочного слагаемого

$$\eta = \frac{gX^3}{16Yv_{ср}^3} c\, G(v_{ср}).$$

Результаты расчетов видны из табл. 14.

Как видим, величины ошибок при дальностях порядка 400 м не превышают 6%. Поэтому вместо дальности прямого выстрела достаточно проанализировать величины получающихся скоростей, что, безусловно, упрощает задачу, так как уже ранее было показано, что максимальные скорости не зависят от калибра, а являются главным образом функцией величины $C_{qб}$.

Разберем теперь на конкретных численных примерах предельные дальности прямого выстрела, получающиеся для определенных параметров снаряда. Результаты, сведенные в табл. 15, относятся к снаряду, выполненному по схеме рис. 132, пороховой заряд которого состоит из различного числа шашек трубчатой формы.

Таблица 14

$v_0 =$	80	160	240	320
$X =$	100	200	300	400
$v_c =$	78,6	154,2	226,9	287,3
$v_{ср} =$	79,3	157,1	233,4	303,6
$G(v_{ср}) =$	0,01	0,0191	0,0292	0,0549
$\eta =$	0,009	0,018	0,0285	0,0580

или иными словами

$$G(v_{ср}) \approx \eta.$$

В табл. 15 проводятся значения максимальных скоростей для противотанкового реактивного снаряда при $C_{qб} = 20$, материале каморы $\sigma_p = 8000$ кг/см². В приведенных расчетах взято различное давление, чтобы сделать некоторые, правда ограниченные, выводы о целесообразной величине выбираемого давления. Параметр $\varkappa$ выбран для давления $= 2/3\, p'_{max}$.

Подсчеты сделаны для различного количества шашек по формулам, определяющим максимально возможную скорость снаряда.

Из рассмотрения табл. 15 следует, что максимальные скорости, которые могут быть получены в современных конструкциях проти-

Таблица 15

p'_{max}		300	400	500	600	800	1000
v_{max}	$n = 1$	665	625	585	550	500	450
	$n = 7$	330	320	310	300	285	270
	$n = 19$	230	225	220	215	207	200
Относительное боковое рассеивание для $n = 7$ при $2e_1 = 3{,}0$ мм.		220%	160%	100%	75%	45%	30%

вотанковых реактивных снарядов, лежат в пределах 200—250м /сек. Некоторого увеличения максимальных скоростей можно добиться уменьшением веса боевой части, т. е. уменьшением значения $C_{qб}$. При одношашечных зарядах могут быть получены скорости свыше 500 м/сек, но практически применение одношашечных зарядов невозможно, так как при этом получается большая длина активного участка и очень низкая кучность.

Анализ получаемой кучности может быть произведен только для конкретных размеров горящего свода.

В этой же таблице приведено сравнительное исследование кучности реактивного снаряда, для которого принято: толщина горящего свода $2e_1 = 3{,}0$ мм, скорость горения пороха $u = 0{,}37\, p^{0,7}$, длина направляющей $S_0 = 2$ м.

Определение кучности велось по приводимой далее формуле (35).

Из табл. 15 видно резкое изменение кучности с изменением давления. Поэтому давление выбирают, исходя из получения необходимой кучности.

Увеличение максимальных скоростей достигается также применением рулонного пороха, так как в этом случае возможно регулировать нужный зазор, а параметр заряжания $\varkappa$ не связан соотношением $\varkappa_{нар} = \varkappa_{кан}$.

Выбор допускаемой толщины горящего свода, определяющий дальность прямого выстрела, может быть произведен только с учетом конкретного анализа получающейся кучности. Расчеты показывают, что даже при высоких расчетных давлениях порядка 1000 кг/см² величина $\bar{e}_1$ не может быть взята более 0,03—0,04.

Используя выведенные ранее формулы (17—20), возможно подсчитать относительный вес порохового заряда, реактивной каморы и затем определить максимальную скорость снаряда.

По этим формулам определены данные, приведенные в табл. 16. Эти расчеты сделаны для давления $P'_{max} = 500$ кг/см², причем величины B, $\varkappa$, k взяты те же, что и в табл. 15.

Таблица 16

$\bar{e}_1$	0,125	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
$\bar{S}$	1,44	2,00	2,42	2,79	3,25	3,95	5,2	8,1
$\bar{L}$	26,0	21	18,1	16,6	14,8	12,8	10,5	7,6
C_ω	14,8	10,6	8,3	7,35	6,1	4,85	4,95	1,95
C_{qp}	21,0	17,0	14,7	13,5	12,0	10,4	8,50	6,65
$\frac{C_\omega}{C_{qб} + C_{qp}}$	0,372	0,286	0,239	0,219	0,190	0,160	0,021	0,073
v_{max}	630	500	430	400	350	300	230	130

§ 28. РАСЧЕТ КУЧНОСТИ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

В результате колебательного движения реактивного снаряда на активном участке траектории в конце активного участка вектор скорости снаряда составляет с плоскостью бросания угол ψ, который мы в дальнейшем считаем неизменным и который определяет боковое рассеивание реактивных снарядов, так как влияние остальных факторов значительно меньше. Причины, вызывающие колебания снаряда на полете, как и сам характер колебаний, различны для разных типов снарядов. Здесь будут приведены окончательные расчетные формулы (для определения бокового рассеивания оперенных, турбореактивных и противотанковых реактивных снарядов), полученные различными исследователями [1].

1. Оперенные реактивные снаряды

Нахождение угла ψ, определяющего отклонение вектора скорости снаряда от плоскости стрельбы, может быть произведено по формуле

$$\psi = \frac{\Delta Q}{A\sigma} Z, \qquad (29)$$

где

Δ — суммарный (газодинамический и геометрический) эксцентриситет, выраженный в метрах.

Для снаряда М-8 $\Delta = 0.5 \cdot 10^{-3}$ м, для М-13 $\Delta = 0{,}9 \cdot 10^{-3}$ м.

Подсчет величины действительного эксцентриситета может быть произведен по формуле (29), если известно фактическое рассеивание снарядов.

Определив из уравнения

$$\frac{B_б}{X} = \frac{\psi}{\cos\theta_0}$$

величину бокового рассеивания ψ, находим затем величину эксцентрисистета (серединную).

Q — средний вес реактивного снаряда в килограммах, равный полному весу снаряда минус четверть его заряда, так как максимум ψ устанавливается в первой половине активного участка траектории.

A — экваториальный момент инерции в кг. м. сек^2.

---

[1] Шапиро Я. М., Теория пороховых реактивных снарядов, 1946 г.
Гантмахер и Левин, О рассеивании противотанковых реактивных снарядов.
Калихман И. Л., Некоторые вопросы внешней баллистики реактивных снарядов,

Величина

$$\sigma = \sqrt{\frac{\rho \cdot S \cdot l\, c'_m}{2A}},$$

где:

ρ — массовая плотность воздуха;
S — площадь миделева сечения;
l — длина снаряда;
c'_m — коэффициент стабилизирующего момента, принимаемый по данным продувок $c'_m = 4{,}8$ для снаряда М-13 и $c'_m = 3{,}44$ для М-8.

Определение c'_m для других типов снарядов изложено в § 44.

Величина

$$Z = f(x_0,\ x - x_0),$$

где

$$x_0 = \sigma S_0 \quad \text{и} \quad x = \sigma S_a,$$

причем:

S_0 — длина направляющей,
S_a — длина активного участка траектории.

Величина Z находится по рис. 134; если $x - x_0 > 5$, то величина Z практически зависит только от x_0.

В принятых обозначениях величина ψ получается в градусах.

Так как для большого количества реактивных снарядов $x - x_0 > 5$ (например, для снаряда М-13 $x - x_0 = 14{,}5$), то это обстоятельство позволяет составить приближенную расчетную формулу, которую можно рекомендовать для приблизительной оценки величины бокового рассеивания, при предварительном расчете кучности снаряда.

Кривая $Z = f(x_0)$ при $x - x_0 = 5$, может быть выражена уравнением

$$Z = \frac{1}{x_0 + 0{,}31} = \frac{1}{\sigma S_0 + 0{,}31}. \qquad (30)$$

Величина σ может быть преобразована следующим образом.

Приближенно экваториальный момент инерции реактивного снаряда можно определить выражением

$$A = k_1\, Q \cdot l^2, \qquad (31)$$

где k_1 — постоянная величина для существующих снарядов, равная 0,006 — 0,008.

Выражение (31) следует из того, что величина экваториального момента для прямого кругового цилиндра

$$A_x = \frac{1}{4} m \left(r^2 + \frac{l^2}{3} \right);$$

для полого цилиндра

$$A_x = \frac{1}{4} m \left(R^2 + r^2 + \frac{l^2}{3} \right) \approx \frac{1}{4} m \left(2R^2 + \frac{l^2}{3} \right).$$

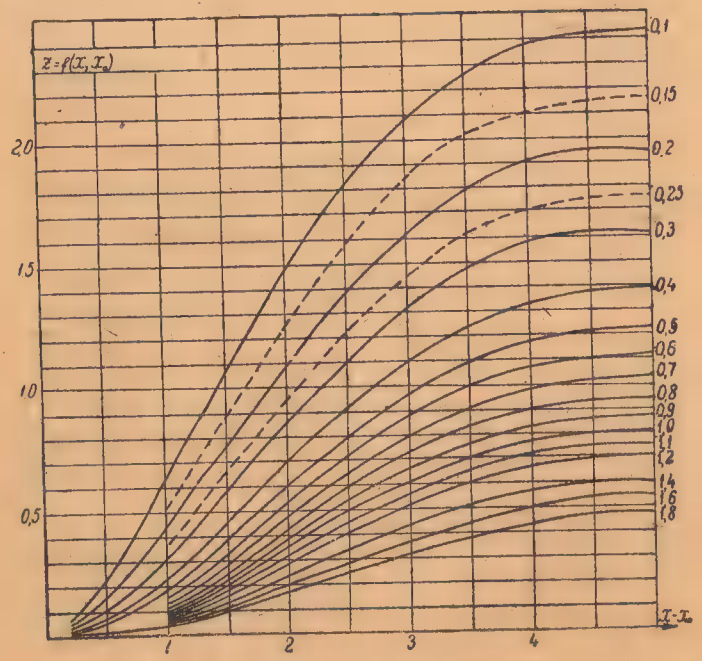


Рис. 134. Кривая $Z = f(x_0, x - x_0)$.

Так как в оперенных снарядах обычно $\frac{l}{R}$ колеблется от 15 до 40, то первый член выражения в скобках составляет от второго максимум 2 — 3 %.

Следовательно, можно написать

$$A_x \approx \frac{1}{4} m \frac{l^2}{3} = \frac{1}{12} m l^2.$$

Итак, будем иметь

$$\sigma = \sqrt{\frac{\rho S l c'_m}{2A}} = \sqrt{\frac{\rho \cdot S l c'_m}{2 k_1 Q \cdot l^2}}.$$

Величина

$$\frac{Sl}{Q} = \frac{1}{\gamma_{ср}},$$

где $\gamma_{ср}$ — приведенный удельный вес снаряда; для существующих конструкций

$$\gamma_{ср} = 1{,}9 - 2{,}1 \text{ кг/дм}^3.$$

Если еще принять плотность воздуха постоянной,

$$\rho = 0{,}123 \text{ кг. сек}^2 \text{ м}^{-4},$$

то получим

$$\sigma = \sqrt{\frac{\rho \cdot S \cdot l \cdot c'_m}{2A}} = \sqrt{\frac{0{,}123 \cdot S \cdot l \cdot c'_m}{2 \cdot k_1 Q \cdot l^2}} = \frac{k_2}{l} \sqrt{c'_m},$$

тогда величина углового рассеивания

$$\psi = \frac{\Delta \cdot Q}{A \cdot \sigma} Z = \frac{\Delta \cdot Q \cdot l}{k_1 Q \cdot l^2 \sqrt{c'_m} k_2} \cdot \frac{1}{\left(\sqrt{c'_m} S_0 \frac{k_2}{l} + 0{,}31 \right)} =$$

$$= \frac{\Delta}{c'_m k_2^2 k_1 S_0 + 0{,}31 k_1 k_2 l \sqrt{c'_m}}.$$

Можно принять следующие значения постоянных:

$$k_2^2 \cdot k_1 = 0{,}028;$$

$$0{,}31 \cdot k_1 k_2 = 0{,}14.$$

Будем иметь окончательное выражение величины ψ в градусах

$$\psi^\circ = \frac{\Delta}{0{,}028 c'_m \cdot S_0 + 0{,}14 l \cdot \sqrt{c'_m}}. \qquad (32)$$

При этом величина Δ выражена в миллиметрах.

При расчете кучности снарядов со стартовыми каморами в формулу (32) вместо длины направляющей S_0 подставляется фиктивная длина направляющей

$$S_ф = S_0 \frac{V_{ст}^2}{V_д^2},$$

где $V_д$ — дульная скорость снаряда.

Из формулы (32) следует, что применение более длинных снарядов должно уменьшить рассеивание при том условии, что величина эксцентриситета не изменится с изменением длины снаряда.

Однако простые рассуждения показывают, что при увеличении

длины снаряда величина эксцентриситета возрастает. Практика все же подтверждает благоприятное влияние увеличения длины на улучшение кучности.

При проектировании снаряда значительные трудности представляет выбор величины суммарного эксцентриситета Δ. В настоящее время нет надежных данных для определения этой величины.

В работе Гантмахера и Левина «Движение реактивного снаряда на активном участке полета» для выбора величины Δ рекомендуется следующая зависимость

$$\Delta = 1{,}5 \cdot 10^{-3} L_c ,$$

где L — расстояние от критического сечения сопла до центра тяжести снаряда.

Таблица 16а

Метод, по которому получены данные	Снаряды			
	М-8	М-13	М-20	М-31
$\Delta_{сум}$ (по результатам стрельб)	0,5	0,9	1,2	1,8
$\Delta_{сум}$ (по формуле 32а)	0,53	0,94	1,21	1,3
Отношение $\frac{\Delta_{газод}}{\Delta_{геом}}$	1,05	2,0	2,9	2,2

Приведенная выше зависимость не отражает влияния калибра снаряда на величину эксцентриситета.

В качестве первого приближения можно рекомендовать следующий способ определения величины эксцентриситета. Будем считать, что суммарный эксцентриситет складывается из газодинамического и геометрического.

Величина газодинамического эксцентриситета пропорциональна расстоянию от критического сечения сопла до центра тяжести снаряда. Величина геометрического эксцентриситета зависит главным образом от точности изготовления снаряда и, следовательно, от величины допусков на отдельные детали снаряда. Известно, что абсолютные величины допусков зависят от класса точности изготовления детали и пропорциональны $\sqrt[3]{D}$, где D — изготовляемый диаметр.

При таких допущениях формула для определения суммарного эксцентриситета имеет вид

$$\Delta = 0{,}0009 L_c + 0{,}06 \sqrt[3]{D_н} , \qquad (32а)$$

где $D_н$ — калибр снаряда в миллиметрах.

В табл. 16а приводятся величины эксцентриситетов, полученных расчетом по формуле (32а) в сравнении с величинами эксцентриситетов, полученных обработкой результатов стрельб.

Величина эксцентриситета, устанавливаемая по формуле (32а), может рассматриваться только как ориентировочная, так как эта формула выведена на основании рассмотрения весьма ограниченного количества снарядов.

2. Турбореактивные снаряды

Насколько нам известно, количественные зависимости для подсчета бокового рассеивания турбореактивных снарядов были получены лишь одним автором — кандидатом технических наук И. Л. Калихманом [1]. Основной предпосылкой для нахождения величины углового рассеивания является то, что главной причиной, определяющей боковое рассеивание турбореактивных снарядов является начальный толчок. В этом случае угловой разброс вектора скорости определяется по формуле

$$r_\psi = 0{,}631\, \dot{\delta}_0 \sqrt{\frac{n}{2 \cdot b \cdot \sigma}} \cdot \frac{1}{2\lambda} \cdot Z, \qquad (33)$$

где:

r_ψ — угловой разброс в радианах;

$\dot{\delta}_0$ — начальная угловая скорость угла нутации, величина которой по данным опытов в среднем может быть принята 0,4 рад/сек;

$$\lambda = \frac{C \cdot r_{max}}{2Av_{max}} ,$$

где:

C и A — полярный и экваториальный моменты инерции снаряда;

r — угловая скорость снаряда;

v — скорость снаряда;

$$n = \lambda(1 + \sqrt{\sigma});$$

$$\sigma = 1 - \frac{\beta}{\lambda^2} ;$$

b — ускорение снаряда;

β — коэффициент опрокидывающего момента, определяемый по обычной формуле внешней баллистики;

[1] И. Л. Калихман, Некоторые вопросы внешней баллистики реактивных снарядов, Диссертация, 1947 г.

$$\beta = \frac{d^2 h}{g \cdot A} 10^3 \; K_м ;$$

Z — определяется по табл. 17, как функция от двух величин

$$nS_0$$

и

$$\varepsilon = \frac{1 - \sqrt{\sigma}}{1 + \sqrt{\sigma}} ,$$

где S_0 — длина направляющей трубы.

Таблица 17

nS_0 \ ε	0,1	0,15	0,20	0,25
0,2	0,75	0,73	0,66	0,62
0,3	0,70	0,66	0,60	0,56
0,4	0,65	0,60	0,56	0,53
0,5	0,60	0,56	0,52	0,48
1,3	0,39	0,35	0,34	0,33
1,4	0,37	0,34	0,32	0,31
1,5	0,35	0,33	0,31	0,30
1,6	0,34	0,31	0,30	0,29
1,7	0,33	0,30	0,29	0,28
1,8	0,32	0,29	0,28	0,27
1,9	0,30	0,28	0,26	0,25
2,0	0,29	0,27	0,25	0,25

Кучность турбореактивных снарядов, определенная по формуле (33), дает удовлетворительное совпадение с данными стрельб.

Анализ формулы (33) показывает следующее:

1. Рассеивание турбореактивных снарядов пропорционально величине $\sqrt{\frac{1}{b}}$, где b — ускорение снаряда, или же пропорционально $\sqrt{\tau}$, где τ — время горения порохового заряда. Отсюда следует вывод, что для улучшения кучности турбореактивных снарядов необходимо применять многошашечные пороховые заряды (из 7 или лучше из 19 шашек).

2. Кучность реактивных снарядов возрастает с увеличением длины направляющей S_0. Однако опытные стрельбы показывают, что при удлинении направляющей, начальный толчок увеличивается.

3. Увеличение угловой скорости турбореактивного снаряда благоприятно сказывается на его кучности.

3. Оперенные противотанковые реактивные снаряды

Наиболее полно вопрос о рассеивании противотанковых реактивных снарядов разобран в работе Ф. Р. Гантмахера и Л. М. Левина «О рассеивании противотанковых оперенных реактивных снарядов». Некоторые теоретические соображения и конкретные расчеты показывают, что угловое рассеивание противотанковых снарядов на активном участке полета почти не зависит от аэродинамических сил, действующих на снаряд. При определении углового разброса противотанкового оперенного реактивного снаряда на активном участке можно считать снаряд аэродинамически нейтральным.

Полное боковое рассеивание таких снарядов ψ складывается из рассеивания на активном участке траектории и из рассеивания на пассивном участке траектории

$$\psi = \sqrt{\psi_м^2 + \psi_п^2} , \qquad (34)$$

где: $\psi_м$ — рассеивание на активном участке траектории, определяемое реактивной отклоняющей парой;

$\psi_п$ — рассеивание на пассивном участке траектории, которое по данным опыта может быть принято равной 1/1000.

Для определения величины $\psi_м$ Гантмахер и Левин получили следующую зависимость

$$\psi_м = \frac{\Delta}{3\rho^2} \cdot \frac{(\sqrt{S} - \sqrt{S_0})^3}{\sqrt{S}} , \qquad (35)$$

где:

Δ — эксцентриситет реактивной силы в метрах;

ρ — радиус инерции относительно экваториальной оси в метрах;

S — длина активного участка траектории в метрах;

S_0 — длина направляющей в метрах.

Из формулы (35) следует, что кучность противотанковых реактивных снарядов в большой степени зависит от длины активного участка.

Рассеивание оперенных и турбореактивных снарядов по дальности определяется известными методами внешней баллистики. При этом следует учитывать, что рассеивание угла θ может быть принято равным величине ψ.

§ 29. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЕКТИРУЕМОГО СНАРЯДА

Основными характеристиками, которые задаются при проектировании реактивного снаряда являются: назначение снаряда, вес боевой части или вес ВВ, максимальная дальность, требуемая кучность.

При эскизном проектировании требуется предварительно определить основные параметры снаряда: тип снаряда (оперенный или турбореактивный), калибр, длина снаряда, полный пассивный вес, вес порохового заряда, тип укладки; проверить приблизительно получающуюся кучность.

Ориентировочное определение этих характеристик достаточно произвести с точностью 5—10% с тем, чтобы в дальнейшем при проектировании эти параметры были окончательно уточнены.

Если задан вес ВВ, то определение полного веса боевой части может быть произведено двояко:

а) По величине коэффициента наполнения

$$\alpha = \frac{\omega_{вв}}{q_б};$$

коэффициент может быть принят —

$\alpha = 15 - 25\,\%$ для осколочных и осколочно-фугасных снарядов,

$\alpha = 30 - 60\,\%$ для фугасных снарядов;

б) Определяются размеры цилиндра, высота которого, как показывает практика, может быть взята $\approx 1{,}5 \div 2$ диаметра и вес которого равен заданному весу ВВ; далее определяют толщину стенок корпуса и доньев соответственно с назначением снаряда и его калибра.

Определение основных параметров проектируемого реактивного снаряда может быть произведено следующими методами.

1. Метод эмпирических коэффициентов

Этот метод[1] основан на использовании примерных соотношений в существующих конструкциях реактивных снарядов и состоит в следующем.

По весу боевой части снаряда определяется общий пассивный вес снаряда, по эмпирической формуле

$$\frac{q}{q_б} = 0{,}3 + 0{,}0043\ v_{max}. \qquad (36)$$

Неизвестная скорость v_{max} должна быть взята примерной по аналогии с существующими типами снаряда.

С той же степенью точности, как и в формуле (36) отношение между общим пассивным весом снаряда и весом боевой части может быть определено и по следующей эмпирической формуле

$$\frac{q}{q_б} = 1 + 0{,}1\,X, \qquad (37)$$

где X — максимальная дальность в километрах.

После того, как определен пассивный вес снаряда, можно определить калибр снаряда по формуле

[1] Шапиро Я. М., Теория пороховых реактивных снарядов, стр. 224 изд. Артакадемии.

$$D_н = \sqrt[3]{\frac{q}{C_q}},$$

где C_q — относительный пассивный вес снаряда, который колеблется в довольно широких пределах $3 \div 10$ для турбореактивных снарядов и $8 \div 20$ для оперенных.

Ориентируясь на существующие конструкции, можно написать более узкие диапазоны значений C_q для реактивных снарядов, как функции дальности, а именно

$$C_q = K \cdot X,$$

где X дальность в километрах; значения коэффициента $K = 1{,}8 \div 2{,}0$ для оперенных снарядов и $1{,}0 \div 1{,}2$ для турбореактивных.

Принимая коэффициент формы i по отношению к закону Сиаччи равным 0,8 — 1,0 как у наших штатных снарядов, определяют баллистический коэффициент $c = \frac{iD_н^2 1000}{q}$, а затем по величинам X и c для угла бросания $\theta = 45°$ определяется максимальная скорость. Исходя из полученной скорости, по формуле Циолковского определяют отношение $\frac{\omega}{q}$ и затем окончательно — вес порохового заряда.

Для того, чтобы пороховой заряд мог быть размещен в реактивной каморе, необходимо предварительно проверить соотношение между весом реактивной каморы и весом порохового заряда. В большинстве случаев пороховой заряд может быть размещен в реактивной каморе, если

$$q_р = q - q_б \geqslant 2\omega.$$

Это соотношение действительно для многошашечных зарядов в тех случаях, если расчетное давление в реактивной каморе не превышает 300 кг/см²; для одношашечных зарядов при $p'_{max} \leqslant 200$ кг/см² может быть $q_р = \omega$.

Главнейшими недостатками изложенного метода являются следующие:

1. Рассчитанный по такому методу калибр снаряда является до некоторой степени случайной величиной, так как зависит от произвольно выбранного значения C_q.

2. Размеры реактивной каморы, полученные при таком расчете, могут привести к слишком длинному пороховому заряду, горение которого будет неустойчивым (причина этого в том, что параметр $\varkappa$ при определении веса порохового заряда не учитывается).

3. Метод не дает никаких рекомендаций к выбору рациональ-

ного типа снаряда — оперенного или турбореактивного. Приходится пользоваться лишь общим, но, к сожалению, недостаточно конкретным положением: для стрельбы мощным снарядом на малые дистанции надо использовать турбореактивные, а на большие дальности оперенные снаряды.

4. Необходимость расчета нескольких вариантов при желании спроектировать реактивный снаряд, имеющий определенную длину в калибрах.

5. Рассчитанный снаряд не может быть назван наилучшим в том смысле, что выбранный калибр при данном весе боевой части не обеспечивает получение максимальных дальностей.

Следует отметить, что принципиально неправильно ориентировать конструктора на зависимости, существующие в штатных снарядах, так как это, во- первых, тормозит развитие новых конструкций снарядов и, во-вторых, эти зависимости, при отходе от условий штатных снарядов могут быть неправильными.

2. Метод Победоносцева [1]

Этот метод в отличие от первого метода основан на определенном принципе, физическая сущность которого состоит в следующем. Допустим имеем реактивный снаряд, пассивный вес которого q, а вес порохового заряда ω. При определенной величине баллистического коэффициента такой снаряд получит вполне определенную дальность. С уменьшением пассивного веса снаряда (безразлично, за счет чего: либо веса боевой части, либо веса реактивной каморы), будет увеличиваться скорость снаряда и одновременно будет увеличиваться баллистический коэффициент. Дальность или высота подъема такого снаряда будет иметь свой определенный оптимум, и дальнейшее уменьшение пассивного веса снаряда невыгодно как с точки зрения уменьшения дальности снаряда, так и с точки зрения уменьшения его могущества [2].

Кроме того, получающееся при этом повышение дульной скорости нежелательно из-за большого износа и разрушения направляющих пусковой установки.

Математическое выражение изложенного положения определяется следующими зависимостями.

Величина баллистического коэффициента

$$c = \frac{iD_н^2 1000}{q} = \frac{iD_н^2 \omega\, 1000}{\omega q} = K\frac{\omega}{q},$$

где

[1] Ю. А. Победоносцев, О выборе веса ракеты.

[2] Предполагается при этом, что величина активного участка невелика в сравнении с величиной пассивного участка.

$$K = \frac{iD_н^2 1000}{\omega}.$$

Например, для снаряда М-13 $K = 2{,}18$.

Откладывая по оси абсцисс (рис. 135) определенное значение $\frac{\omega}{q}$, и тем самым определяя скорость снаряда, мы находим ве-

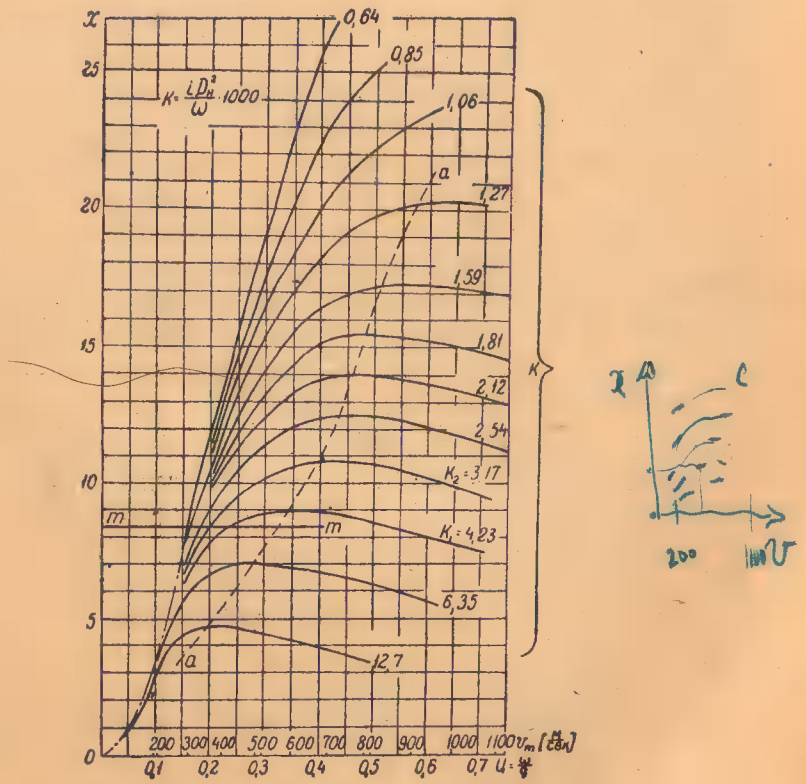


Рис. 135. Зависимость между максимальной дальностью и значением $\frac{\omega}{q}$ при различных значениях K.

личину баллистического коэффициента c для определенного значения K, и затем определяем максимальную возможную дальность. Получаем ряд кривых (рис. 135), из которых каждая соответствует определенному значению K. Линия $a-a$ ограничивает оптимальные дальности и, как уже указывалось, пользование точками кривой справа от линии $a-a$ неразумно.

При проектировании снаряда проводим линию $m - m$, параллельную оси абсцисс и соответствующую заданной дальности. Эта линия пересекает ряд кривых K_1, K_2 и т. д., причем точкам пересечения соответствуют определенные значения $\left(\frac{\omega}{q}\right)_1$, $\left(\frac{\omega}{q}\right)_2$ и т. д.

Зная вес боевой части, можно определить вес порохового заряда, если принять определенное соотношение между весом реактивной каморы и весом порохового заряда. Примем, например, $q_р = 2\omega$, хотя, как уже указывалось ранее, такое соотношение не является правильным для различных типов зарядов,
тогда

$$\frac{\omega}{q} = \frac{\omega}{q_б + q_р} = \frac{\omega}{q_б + 2\omega} = \text{const.} \qquad (38)$$

Из уравнения (38) определяем вес порохового заряда.
Пассивный вес снаряда нами принят равным $q = q_б + 2\omega$.
Затем определяется калибр снаряда из уравнения

$$K = \frac{i \cdot D_н^2}{\omega} \cdot 1000,$$

при этом необходимо задаться коэффициентом формы i.

Определив по величине калибра толщину стенки реактивной каморы, а затем внутренний диаметр реактивной каморы, определяем длину реактивного заряда

$$\omega = L \cdot \Delta \cdot \frac{\pi}{4} D_к^2,$$

где: Δ — плотность заряжания $= 0{,}9 - 1{,}1$;
L — длина заряда.

Кривые, аналогичные рис. 135, можно построить также для зенитной стрельбы.

Рассмотрение кривых (рис. 135) показывает, что максимальное значение дальности функции $\frac{\omega}{q}$ выражается плавной кривой, и поэтому значительное изменение полезного веса q ведет к небольшому изменению дальности. Отсюда следует вывод, что практически часто удобно использовать не значение $\frac{\omega}{q}$, соответствующее максимуму дальности, а меньшее, с тем, чтобы получить значительное увеличение могущества снаряда при незначительном уменьшении дальности.

Достоинства метода:

а) Используя рис. 135, можно быстро определить основные параметры ряда снарядов с различными значениями K. Из этих определенных снарядов выбирается один снаряд, характеристики которого конструктор сочтет наилучшими. Разные значения K дают снаряды различного калибра и длины, при этом, чем меньше калибр, тем больше его длина. Обычно желательно выбирать снаряд более длинный, так как он получается более экономичный с точки зрения расхода металла и пороха для транспортировки одного и того же груза на заданную дальность. Таким образом, одним из основных критериев для выбора снаряда должна служить его длина в калибрах.

б) Пассивный вес снаряда, параметры которого определены изложенным методом, будет обеспечивать получение больших дальностей стрельбы без снижения могущества его действия.

Недостатки метода:

а) Некоторый произвол в выборе величины K, а следовательно, неоднозначное решение задачи при определении калибра.

б) Полученные размеры реактивной каморы и веса порохового заряда не увязаны количественно между собой (исключая отношение $\frac{q_р}{\omega} = 2$, что для длинных реактивных камор не является правильным). Возможно при этом получение слишком большой величины параметра заряжания $\varkappa$,

в) Граница применимости оперенных или турбореактивных снарядов не устанавливается.

г) Этот метод не определяет возможной наибольшей дальности снаряда определенного калибра.

д) Определение параметров снаряда, длина которого в калибрах задана, не может быть найдена сразу и должна вестись методом последовательных приближений.

3. Метод расчета по кривым $X = f(D_н, C_{qб})$

Зависимость $X = f(D_н, C_{qб})$ соединяет в себе принцип выбора наивыгоднейшего пассивного веса снаряда с выбором наилучшего порохового заряда, размеры которого, как указано было выше, зависят от веса боевой части, параметра заряжания $\varkappa$, выбранного давления в каморе, удельного веса и прочности металла каморы. Поэтому получившиеся окончательные результаты количественно связаны со всеми принятыми величинами при расчете. Достинством таких кривых является количественная увязка двух важнейших тактико-технических требований, предъявляемых к снаряду, а именно дальнобойности и могущества снаряда.

Порядок расчета получается при этом следующий.

Пусть мы имеем (рис. 136) график значений $X = f(C_{qб}, D_н)$.

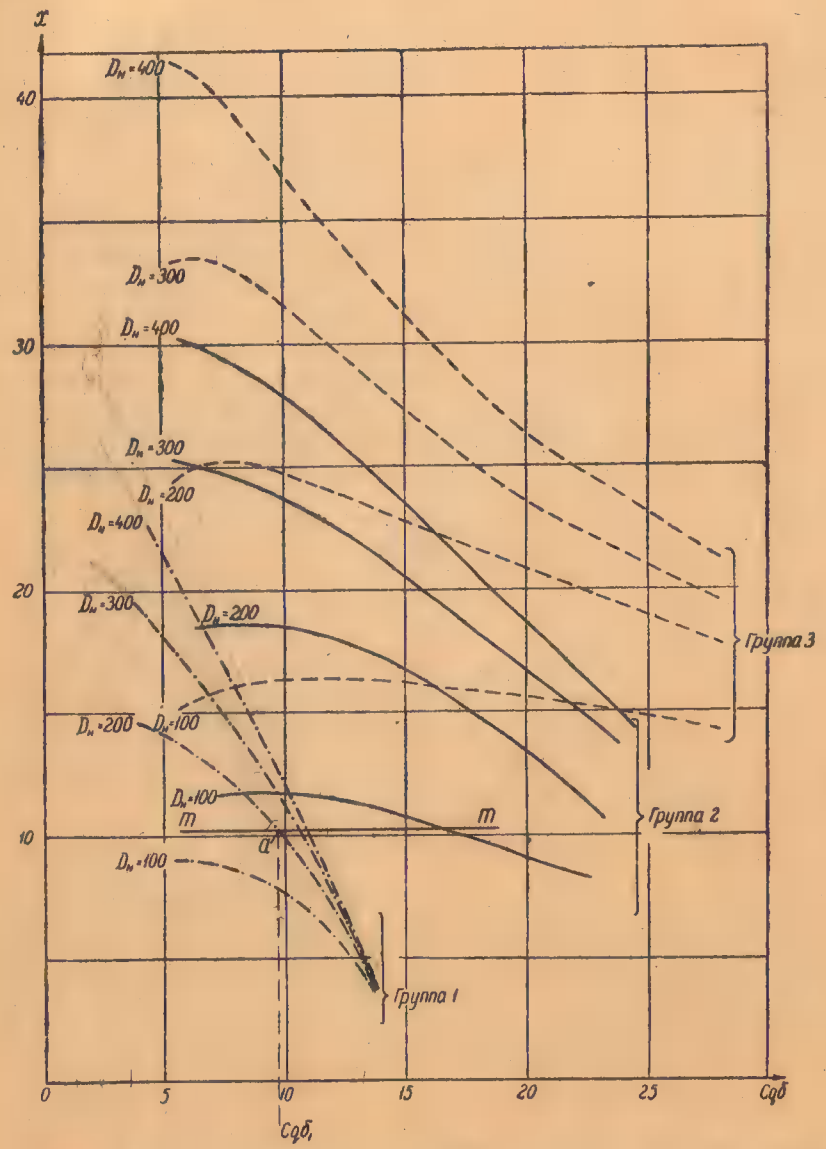


Рис. 136. Схема определения основных параметров снаряда по кривым $X = f(Cq^{б}, D_{н})$.

На этот график для различных значений $D_н$ нанесены кривые $X = f(C_{qб})$ для турбореактивных снарядов (группа 1), для оперенных снарядов определенной длины в калибрах (группа 2) и для оперенных снарядов, длина которых в калибрах неограниченна (группа 3).

Проводя прямую $m - m$, соответствующую заданной дальности, мы получим пересечение этой прямой с кривыми $X = f(C_{qб})$. Точка пересечения a определяет значение $C_{qб}$, при котором возможно получение заданной дальности. Если величина $C_{qб} \cdot D_н^3$ получается меньше заданного веса боевой части, то это значит, что необходимо выбрать больший калибр.

После того, как определено значение $C_{qб}$, можно быстро по рис. 126 определить значение прочих параметров реактивного снаряда, а именно: общей длины снаряда, веса порохового заряда и диаметра шашек, общего веса снаряда, максимальной скорости. Все эти величины выражены как функции значения $C_{qб}$.

Таким образом, получено однозначное решение, и от конструктора не требуется никаких дополнительных расчетов.

Достоинствами метода являются:

1. Строго определеное значение всех параметров снаряда; при этом снаряд получается наилучшим в том смысле, что при определенном калибре и заданном весе боевой части получится максимальная дальность стрельбы, либо при заданном калибре и дальности снаряд будет иметь максимум полезного груза.

2. Установление точных границ применимости реактивных снарядов определенной длины в калибрах. Тем самым точно определяется область применения турбореактивных и оперенных снарядов.

3. Размеры порохового заряда, размеры реактивной каморы, параметр заряжания $\varkappa$ между собою увязаны и никаких дополнительных согласований не требуется.

4. Определение границы возможной максимальной дальности для заданного калибра вообще и границы возможной максимальной дальности для заданного калибра и веса боевой части.

§ 30. ФОРМА И РАЗМЕРЫ КОРПУСА РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА. ПРОЧНОСТЬ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ И УДАРЕ В ПРЕГРАДУ

При разработке эскизного проекта, после определения основных параметров снаряда конструктор обязан установить форму и размеры корпуса реактивного снаряда и проверить на прочность его важнейшие элементы при выстреле и ударе в преграду.

Внешняя форма большинства реактивных снарядов напоминает форму снарядов ствольной артиллерии (за исключением снарядов, у которых боевая и реактивная части выполнены различного диа-

метра — снаряды М-31, 300-мм немецкий фугасный снаряд и т. д.). Большинство реактивных снарядов имеют оживальную часть, цилиндрическую часть с центрующими утолщениями. Обычно реактивные снаряды не имеют конусной донной части, что объясняется конструктивными особенностями реактивных снарядов. Это обстоятельство влечет за собой некоторое ухудшение баллистических качеств реактивного снаряда. Формы и размеры внешнего контура реактивного снаряда должны отвечать требованиям дальнобойности, могущества действия у цели, простоты производства и снаряжения снаряда. Форма оживальной части снаряда связана непосредственно с коэффициентом формы снаряда и является в первую очередь функцией максимальной скорости. Поскольку вопрос о наиболее выгодной баллистической форме оживальной части реактивных снарядов специально не исследовался, то возможно использовать те же зависимости, которые применяются в ствольной артиллерии и приведены в табл. 18. Заострение оживальной части снаряда при высоких скоростях необходимо из-за значительного увеличения сопротивления воздуха при больших скоростях.

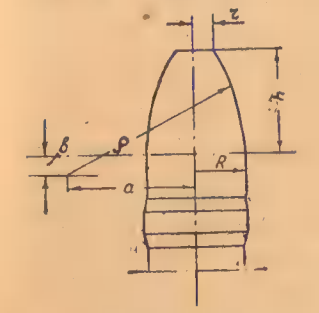


Рис. 137. Размеры оживальной части.

Таблица 18

Элементы очертания оживальной части снаряда	Начальная скорость в м/сек.				
	до 400	400—500	500—600	600—800	Свыше 800
Длина оживальной части /в калибрах/	до 1,5	до 2,5	до 3,0	до 3,2	до 3,5
Радиус очертания оживальной части /в калибрах/	до 3	до 8	до 10	до 15	от 15 и выше

Если заданы размеры (рис. 137): R, определяемый калибром снаряда, r, определяемый по размеру взрывателя или по размеру притупления бронебойного или бетонобойного снаряда, h и ρ, определяемые по табл. 18, то координаты радиуса оживальной части определяются уравнениями:

$$b = \frac{1}{2}\left\{(R-r)\sqrt{\frac{4\rho^2 - h^2 - (R-r)^2}{h^2 + (R-r)^2}} - h\right\},$$

$$a = \sqrt{\rho^2 - b^2} - R.$$

Желательно, чтобы форма взрывателя соответствовала форме оживальной части.

Расчет прочности реактивного снаряда при выстреле обычно не производится, так как силы инерции при выстреле невелики и, как указывалось выше, в десятки и сотни раз меньше, чем силы инерции в снарядах ствольной артиллерии. Проверим напряжения, получающиеся в сечении $a-a$ реактивной каморы (снаряду М-8. рис. 138) по данным, соответствующим примерно

$$j_{max} = 560 \text{ м/сек}^2;$$

$$q_п = 7 \text{ кг};$$

$$D_н \approx 80 \text{ мм};$$

$$\delta = 2{,}5 \text{ мм}.$$

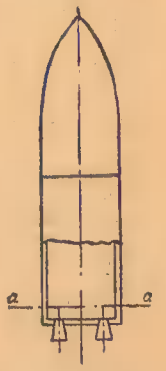


Рис. 138. Схема проверки удельного давления сжатия в реактивном заряде при выстреле.

Величина силы инерции

$$P = mj = \frac{560 \cdot 7}{9{,}81} \approx 400 \text{ кг}.$$

Напряжение в сечении $a-a$

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{400}{\pi 8 \cdot 0{,}25} \approx 61 \text{ кг/см}^2,$$

что составляет не более 2% от напряжения в каморе вследствие действия пороховых газов.

Элементом, подлежащим расчету от сил инерции, является пороховой заряд, если он выполнен в виде одной шашки большой длины и опирается на диафрагму (решетку), причем плоскость соприкосновения невелика. В этом случае между опорной поверхностью диафрагмы и шашкой могут возникнуть значительные усилия, которые повлекут за собой растрескивание шашки.

Если

ω — вес порохового заряда,

j — ускорение реактивного снаряда,

f — поверхность соприкосновения между шашкой и диафрагмой, то получающееся напряжение

$$\sigma_{сж} = \frac{\omega \cdot j}{g \cdot f} \leqslant R_{сж},$$

при этом для штатных нитроглицериновых порохов

$$R_{сж} = 200 \text{ кг/см}^2$$

при

$$t = 15^\circ\,\text{C},$$

и

$$R_{сж} = 40\ \text{кг/см}^2$$

при

$$t = -40^\circ\,\text{C}.$$

Расчет снаряда на прочность при действии у цели в ствольной артиллерии производится только для бронебойных и бетонобойных снарядов, так как в этом случае получающиеся напряжения могут быть большими, чем напряжения при выстреле. Проверка на прочность при действии у цели фугасных и осколочно-фугасных снарядов обычно не производится. Реактивные, осколочно-фугасные и фугасные снаряды следует проверять на прочность при срабатывании у цели, так как они на прочность при выстреле не рассчитываются. Расчет напряжений при ударе в преграду можно делать по приближенному методу, общему для различных типов снарядов. Основным допущением при применении этого метода является постоянство силы сопротивления преграды, что соответствует равнозамедленному движению снаряда в преграде. Таким образом, если скорость встречи с преградой v_c, то уравнение работы снаряда

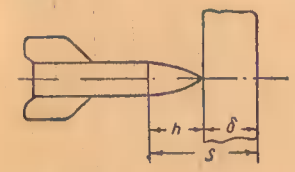


Рис. 139. К схеме определения сил инерции при действии снаряда о броню.

$$F \cdot S = \frac{m v_c^2}{2}.$$

Величина ускорения

$$l = \frac{F}{m} = \frac{v_c^2}{2 \cdot S}. \qquad (39)$$

Величина S определяется по различному для разных типов снарядов. Например, для бронебойных снарядов (рис, 139) величина S равна сумме толщины стенки и оживальной части снаряда. Для правильного определения величины S необходимо учитывать, что между скоростью V_c и толщиной пробиваемой брони существует зависимость, учитывающая калибр снаряда, его конфигурацию и некоторые другие факторы.

Для определения величины S при действии снаряда по другим целям, например по грунту, существует ряд полуэмпирических формул; некоторые из них будут приведены ниже.

По полученной величине ускорения можно определить напряжение в любом сечении реактивного снаряда, причем, естественно,

нас будут интересовать напряжения в боевой части, так как, во-первых, в ней будут получаться наибольшие напряжения (в том случае, если стенки боевой части небольшие, как у фугасных снарядов), во-вторых, потому, что разрушение реактивной каморы является желательным фактором.

Одновременно также необходимо произвести расчет напряжений, получающихся в заряде.

Практика показывает, что в бронебойных снарядах получающиеся при ударе о преграду напряжения в стенках боевой части $\sigma_B = 200 - 220$ кг/мм², хотя и значительно превышают предел упругости многих легированных сталей, допустимы, так как здесь имеется инерционная динамическая нагрузка.

В тех случаях, когда действие сил инерции растягивается во времени (фугасные, бетонообойные снаряды), желательно снижение получающихся напряжений в стенках боевой части до величины 80 — 100 кг/мм². Допускаемые напряжения для наиболее стойких ВВ составляют 10 — 11 кг/мм².

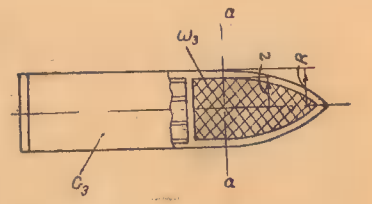


Рис. 140. Определение напряжений при действии снаряда о преграду.

При подсчете напряжений по величине ускорения указанным методом не учитывается влияние инерции снаряжения на прочность оболочки.

Если учитывать влияние инерции снаряжения, то осевые напряжения, наиболее опасные в момент удара, в различных сечениях боевой части можно подсчитать по следующей формуле

$$\sigma_Z = -\frac{v_c^2}{6 \cdot g\pi S} \cdot \frac{1}{R^2 - r^2} [2\omega_з + 3G_з], \qquad (40)$$

где $\omega_з$ и $G_з$ — соответственно вес ВВ и корпуса боевой части и реактивной каморы позади рассматриваемого сечения (рис. 140);

R и r — радиусы корпуса боевой части в рассматриваемом сечении.

§ 31. ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Проектирование любых образцов вооружения, и в том числе реактивных снарядов, производится на основе тактико-технического задания (Т. Т. З.), составляемого обычно заказчиком. Это задание содержит определение и назначение проектируемого снаряда, тактико-технические и производственно-экономические требования, предъявляемые к снаряду. Боевая ценность вновь проектируемого снаряда в большой степени определяется правильно составленным тактико-техническим заданием, а поэтому при разработке задания

необходимо глубокое и всестороннее изучение тактических вопросов, технических возможностей осуществления того или иного требования, недостатков, присущих существующим образцам снарядов подобного типа, факторов, улучшающих то или иное требование.

Тактико-технические требования определяют следующие основные характеристики снаряда: дальнобойность (высотобойность); могущество; кучность боя; безопасность при стрельбе; надежность действия; удобство при подготовке к стрельбе; удобство при транспортировке; стойкость при длительном хранении.

Помимо перечисленных основных в тактико-техническом задании требований могут быть записаны и дополнительные, причем выполнение некоторых из них требует совместной работы проектировщиков снарядов и пусковых устройств. Такими дополнительными требованиями могут быть: скорострельность, метод ведения огня, вес всей системы (пускового устройства в заряженном состоянии), температурный диапазон применения снарядов, метод воспламенения, особенности взрывателя, метод стабилизации снаряда на полете.

К производственно-экономическим требованиям относятся:

1) простота и технологичность конструкции, обеспечивающие дешевизну производства;

2) унификация снарядов различного назначения, унификация отдельных узлов и деталей реактивного снаряда;

3) обязательное применение отечественных материалов;

4) дешевизна и недефицитность исходных материалов и возможность их суррогатирования;

5) применение сортаментов и марок материалов по ОСТ, ГОСТ и ведомственным стандартам;

6) применение при обработке остированного инструмента (метчики, плашки, развертки и т. д.).

Естественно, что не все перечисленные требования обязательно записываются в тактико-техническом задании. Иногда могут решаться некоторые частные задачи, например, улучшение кучности, или улучшение технологичности существующего образца снаряда. Перейдем теперь к рассмотрению отдельных требований, предъявляемых к реактивным снарядам.

1. Тактико-технические требования

Дальнобойность (высотобойность). Требование дальнобойности выражается предельной дальностью стрельбы снарядами полевой наземной и дальнобойной артиллерии и дальностью прямого выстрела при стрельбе противотанковыми снарядами. Вопрос о предельной дальности стрельбы однокаморными снарядами наземной артиллерии и противотанковыми снарядами был разобран в § 26

и 27. При стрельбе многокаморными снарядами можно достичь значительных дальностей (4-каморный снаряд «Рейнботе» имел дальность 160—180 км), но при этом вес снаряда в целом получается в десятки раз, а вес порохового заряда в несколько раз больше веса боевой части. При этом стоимость снаряда получается слишком большой. Следует считать, что для стрельбы на дальности свыше 30—40 км жидкостные реактивные снаряды имеют преимущество перед пороховыми реактивными снарядами. Поэтому, не вдаваясь в подробное рассмотрение возможностей многокаморных реактивных снарядов с отделяющимися на полете каморами (как обеспечивающими наибольшую дальность), укажем лишь на три основных положения, выполнение которых приводит к получению максимальных дальностей многокаморного снаряда.

1. Чем больше камор, отделяющихся на полете, выбрано в реактивном снаряде, тем наибольшей будет дальность. Однако применение более 4—5 отделяющихся на полете камор нецелесообразно по экономическим соображениям.

2. Вес пороховых зарядов в отдельных каморах должен быть распределен по закону геометрической прогрессии. Если пороховой заряд в первой отделяющейся каморе обозначить через ω_1, во второй каморе—ω_2 и т. д., то знаменатель прогрессии

$$\mu = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\omega_n}{\omega_{n-1}} = \sqrt[n]{\frac{q_б}{Q}},$$

где n — общее число камор в снаряде.

3. Для получения наибольшей дальности зажигание пороховых зарядов в отдельных каморах следует производить не сразу, а через некоторые промежутки времени.

Могущество. Могущество реактивного снаряда задается либо весом ВВ (фугасные и осколочно-фугасные снаряды), либо весом боевой части (осколочные и осколочно-фугасные снаряды), либо калибром (кумулятивные снаряды), так как известно, что разумно спроектированный оперенный реактивный снаряд с кумулятивной боевой частью способен пробить броню толщиной 2,0—2,5 калибра.

Известно, что могущество артиллерийских снарядов определяется следующими величинами.

Коэффициентом наполнения

$$\alpha = \frac{\omega_{вв}}{q} 100\ \%;$$

относительным весом разрывного заряда

$$C_{\omega\ вв} = \frac{\omega_{вв}}{D_н^3};$$

относительным весом снаряда

$$C_q = \frac{q}{D_н^3}.$$

Значение этих величин для различных снарядов ствольной артиллерии приводится в табл. 19.

Таблица 19

Величины	Тип снаряда			
	фугасный		осколочный	осколочно-фугасный
	пушка	гаубица		
Коэффициент наполнения α %	10—15	до 20	5—10	10—15
Относительный вес заряда $C_{\omega вв}$	до 2,0	2,0—2,5	0,8—1,5	1,5—2,0
Относительный вес снаряда C_q	12—14	10—12	14—16	12—14

Как было показано ранее, в реактивных снарядах имеется возможность увязать дальность со значением $C_{q\delta}$. Поэтому при выборе величин C_q, $C_{\omega\,вв}$ и α необходимо увязывать значения этих величин с типом снаряда, его калибром, типом порохового заряда, используя для этого графики на рис. 127, 129, 130. Если принять вес реактивной каморы $= 25 - 30\,\%$ от пассивного веса снаряда, то $C_{q\delta} \approx 0{,}7\ C_q$. В зависимости от типа и калибра снаряда можно определить значение $C_{q\delta}$, которое либо соответствует оптимуму дальности, либо определяет приемлемое для нас значение дальности.

В реактивном снаряде стенки боевой части могут быть взяты значительно меньшими, чем в артиллерийском снаряде, поэтому значения α % и $C_{\omega\,вв}$ можно выбирать для реактивных осколочных и осколочно-фугасных снарядов по верхнему пределу этих величин для артиллерийских снарядов, а для фугасных снарядов их можно увеличить в 1,5—2 раза.

Кучность боя. Действительность огня реактивной артиллерии и возможности ее тактического использования в большой степени зависят от рассеивания снарядов. Характеристикой рассеивания при стрельбе по площадям служат величины $\frac{B_д}{X}$ и $\frac{B_б}{X}$, значение которых для современных образцов оперенных и турбореактивных снарядов наземной артиллерии на предельной дальности стрельбы может быть принято

$$\frac{B_д}{X} \approx \frac{B_б}{X} = \frac{1}{100} \div \frac{1}{120}.$$

Как показывает практика, в настоящее время эта величина не является пределом.

Рассеивание при стрельбе по вертикальным целям определяется величинами $\frac{B_б}{X}$ и $\frac{B_в}{X}$ и для наилучших противотанковых реактивных снарядов может быть принято равным

$$\frac{B_б}{X} = \frac{B_в}{X} = \frac{1}{400} \div \frac{1}{500}.$$

Рис. 141. Ступенчатая дизграмма реактивной силы.

Абсолютная величина рассеиваний $B_д$, $B_б$ и $B_в$ определяется по соответствующим формулам и зависит от рассеивания баллистического коэффициента — r_c, рассеивания скорости — r_v, рассеивания угла бросания — r_θ, рассеивания в боковом направлении — r_ψ, рассеивания r_j, зависящего от несимметрии формы, действия ветра и т. д. Не рассматривая здесь расчетных формул для определения этих величин, укажем лишь на то, что имеется очень большое число факторов, влияющих на рассеивание реактивных снарядов. Например, М. К. Тихонравов в статье „Исследование факторов, влияющих на кучность боя реактивных снарядов" насчитывает 26 факторов, влияющих на рассеивание реактивных снарядов.

Не разбирая здесь конструктивных и технологических мероприятий, улучшающих кучность реактивных снарядов (удлинение направляющей, центрование шашки, увеличение точности обработки деталей снаряда и т. д.), укажем лишь на основные принципы, использование которых улучшает кучность реактивных снарядов.

1. Для оперенных реактивных снарядов:

а) Проворачивание снарядов на полете, которое может быть осуществлено выпуском части пороховых газов через тангенциальные отверстия, постановкой косонаклонного оперения, стрельбой со спиральных направляющих.

б) Применение комбинированного порохового заряда, дающего ступенчатую диаграмму (рис. 141) реактивной силы. При этом эффективное улучшение кучности будет только в том случае, если время действия максимальной реактивной силы P_1 будет равно или почти равно времени схода снаряда с направляющей. Конструктивное осуществление подобной ступенчатой диаграммы реактивной силы возможно либо устройством стартовой каморы,

либо применением в одной каморе комбинированного толстосводного и тонкосводного пороховых зарядов. Однако для того, чтобы в этом случае не утяжелять каморы, рассчитывая прочность ее стенки на большое давление, желательно в начальный момент времени иметь большую площадь критического сечения сопла, которая уменьшается после сгорания тонкосводного пороха.

2. Для турбореактивных снарядов:

а) Уменьшение времени горения, применяя заряд с возможно меньшей толщиной горящего свода.

б) Увеличение числа оборотов снаряда.

3. Для оперенных противотанковых реактивных снарядов:

а) Применение тонкосводного порохового заряда.

б) Применение высоких давлений в реактивной каморе.

Безопасность при стрельбе. Безопасность при стрельбе является одним из важнейших требований к реактивным снарядам, так как возможные поражения своих войск подрывают веру в безопасность и могущество вооружения. В сравнении со ствольной артиллерией опасность усугубляется тем, что на пусковой реактивной установке находится обычно не один, а несколько десятков снарядов. Безопасность при стрельбе гарантируется устранением следующих явлений:

1) преждевременных разрывов боевой части,

2) разрывов реактивной каморы,

3) возможности случайного выстрела снарядов,

4) разрыва снаряда при аномальном горении порохового заряда и падении снаряда недалеко от пускового устройства,

5) опасного действия газовой струи.

Причиною преждевременных разрывов боевой части может явиться проникновение пороховых газов из каморы в боевую часть из-за неудовлетворительной конструкции соединительного дна, либо из-за наличия пороков в металле соединительного дна. Другой причиной преждевременого разрыва боевой части может явиться недостатки взрывателя; поэтому к взрывателю должны быть предъявлены соответствующие требования.

Разрыв реактивной каморы возможен из-за недостаточной ее прочности. Отсутствие пороков в металле каморы и ее расчетная прочность обеспечивается в производстве испытаниями каждой каморы на магнитном дефектоскопе и гидравликой. Однако возможно появление выскоков давления в реактивной каморе из-за закупорки критического сечения сопла осколками и металлическими частицами диафрагмы, увеличения поверхности горения пороха при его растрескивании, непредусмотренного повышения температуры порохового заряда. В качестве предохранительных мер от возможных выскоков давления могут применяться: срезающиеся при определенном давлении диафрагмы, увеличивающие площадь отверстий для истечения газов, предохранительные клапаны, поперечные

проточки на реактивной каморе (американские снаряды М-8), пороха с повышенной механической прочностью, пороха с малой температурной зависимостью, надежное закрепление порохового заряда в каморе от тряски при перевозках и в служебном обращении.

Случайный выстрел реактивного снаряда происходит при случайном воспламенении порохового заряда. Для предупреждения случайного воспламенения необходимо строго соблюдать правила техники безопасности (снаряды должны находиться на определенной дистанции от источников огня), а при стрельбе с пусковых установок при электрическом зажигании должны быть предусмотрены все меры, исключающие наличие тока в электроподводящей цепи. Опасность случайного выстрела наиболее возможна у снарядов, контакты которых при заряжании непосредственно соприкасаются с электрическими контактами пусковой установки (М-13, американский снаряд Т-21 с контактными кольцами на оперении).

Предупреждение разрыва реактивного снаряда при аномальном горении порохового заряда и падении снаряда вблизи пусковой установки обеспечивается дальней взводимостью взрывателя. Дальняя взводимость взрывателя предупреждает также разрыв снаряда при встрече со случайными препятствиями (кусты, маскировочные сети), находящиеся непосредственно у огневой позиции.

Действие газовой струи может представлять непосредственную опастность как для расчета, так и для самих реактивных снарядов. Для предупреждения этой опасности расчет укрывается в ровиках, находящихся в безопасном удалении от пусковой установки или укрывается под бронезащитой. Вредное действие газовой струи на реактивные снаряды, находящиеся на направляющей и в полете, зависит в некоторой степени от метода ведения огня и темпа стрельбы и при разработке нового образца снаряда должно быть проверено экспериментально.

Надежность действия. В понятие «надежность действия» для реактивных снарядов входят надежность пуска, полета и действия у цели. Надежность пуска обеспечивается совместным действием снаряда и установки и гарантируется надлежащим состоянием контактов снаряда и установки; сохранением в боевой готовности электрозапалов, воспламенителей и порохового заряда; точностью, достаточной прочностью и отсутствием дефектов (забоины, загрязнение и т. д.) направляющих пускового устройства.

Надежность снаряда на полете определяется достаточной прочностью деталей снаряда (отсутствие обрывов, деформации, или вибрации стабилизатора, невозможность вырыва пиросвечи, сопла) и незначительным воздействием на траекторию снаряда газовой струи впереди идущего снаряда.

Надежное действие реактивного снаряда у цели — это надежное действие взрывателя и достаточная прочность оболочки при действии снаряда о преграду.

Удобство при подготовке к стрельбе. При подготовке к стрельбе возможны следующие основные действия с реактивными снарядами: 1) подготовка реактивного порохового двигателя (регулировка величины порохового заряда, установка сменных или регулируемых сопел и т. д.), 2) постановка взрывателя, 3) заряжание, 4) присоединение системы электрозажигания, 5) снятие колпачков, предохранительных чек со взрывателей. Возможность быстрого, безошибочного и надежного выполнения этих действий в условиях боевой обстановки должны быть учтены при проектировании нового образца снаряда. В то же время разрешение этих требований в существующих конструкциях нельзя признать удовлетворительным. Например, в американском снаряде М-8 при стрельбе в различных температурных условиях необходимо отвернуть боевую часть и вынуть несколько пороховых шашек. При заряжании отечественных снарядов М-8 необходимо вынуть из пиропистолета корпус использованного пиропатрона и вставить новый, при заряжании снаряда М-31 необходимо зачищать концы проводников. Выполнение этих действий, помимо уменьшения скорострельности, усложняет и затрудняет работу расчета в боевых условиях. Особое внимание должно быть обращено на облегчение заряжания тяжелых, крупнокалиберных снарядов.

Удобство при транспортировке. Удобство при транспортировке определяется размером и весом укупорки и возможностью размещения на платформе кузова автомашины такого числа укупорочных ящиков со снарядами, чтобы использование грузоподъемности машины было наибольшим. Известно, что турбореактивные снаряды имеют преимущество перед оперенными в удобстве при транспортировке. В существующих конструкциях отношение веса укупорки к весу снаряда составляет: для оперенных снарядов 38—76%, для турбореактивных снарядов 11—26%.

Стойкость при длительном хранении. При длительном хранении должна быть обеспечена стойкость разрывного заряда, порохового заряда, воспламенителей и корпуса снаряда. Стойкость ВВ обеспечивается теми же методами, что и в ствольной артиллерии. Корпус боевой и реактивной части окрашивают (с предварительной грунтовкой), лакируют а некоторые детали (стабилизатор, диафрагму) цинкуют. Стойкость порохового заряда и воспламенителей обеспечивается надежной герметизацией порохового заряда в реактивной каморе, а в некоторых случаях постановкой специальных влагопоглотителей.

2. Производственно-экономические требования

Производственно-экономические требования предъявляются к реактивным снарядам потому, что они потребляются в огромных количествах. Необходима материальная база (сырье, оборудование) для массового их выпуска по наиболее дешевой цене.

Простота и технологичность конструкции. Технологичной конструкцией можно назвать такую конструкцию, в которой гармонично увязаны тактико-технические и служебные требования, возможности применения высокопроизводительных методов обработки (в том числе сверхскоростное резание металлов) и достигнут высокий коэффициент использования металла (малый коэффициент отхода в стружку). В понятие «технологичность конструкции» следует включить также обоснование величины назначаемых допусков, так как известно, что чем грубее класс точности, тем дешевле будет стоить изделие. Назначенные допуски должны в то же время обеспечивать выполнение определенных служебных требований, предъявляемых к деталям и всему снаряду в целом. Например, нельзя назвать технологичной конструкцию каморы снаряда М-13 потому, что внутри ее имеется буртик, что требует применения малопроизводительной операции внутренней расточки каморы на большой длине.

Кроме того, при проектировании необходимо учитывать нежелательность обработки отдельных деталей на уникальном оборудовании, так как во время войны для производства боеприпасов привлекаются заводы гражданского машиностроения, располагающие только обычным универсальным оборудованием.

2. **Унификация.** Унификация снарядов различного назначения, унификация отдельных узлов и деталей реактивных снарядов имеют огромное значение для упрощения производства и для упрощения снабжения армии боеприпасами. К сожалению, этот вопрос еще должного разрешения не получил, хотя реактивные снаряды имеют здесь бо́льшие возможности, чем артиллерийские. Следует отметить, что наши отечественные снаряды унифицированы значительно шире, чем снаряды немецкие.

Обязательность требования использования для производства реактивных снарядов отечественных материалов является вполне очевидной, так как абсолютно недопустимо, особенно в военное время, чтобы производство реактивных снарядов зависело от взаимоотношений с тем или иным иностранным государством.

Дешевизна и недефицитность исходных материалов определяют возможность постановки производства реактивных снарядов в массовом количестве. Необходимо предусмотреть возможное суррогатирование исходных материалов, идущих на изготовление реактивных снарядов в военное время. Особенно остро во время войны может стоять вопрос с изготовлением пороховых зарядов, так как реактивные снаряды потребляют большое количество порохов.

Применение остированных сортаментов и марок материалов остированных диаметров и резьб, а также остированного инструмента при обработке является требованием желательным, но не обязательным, так как для такой мощной отрасли индустрии, как

производство боеприпасов, возможно производство специального проката, выплавки специальных сталей, производство специального инструмента. Однако такое расширение номенклатуры создает излишние трудности в народном хозяйстве страны. Особенно эти вопросы должны быть учтены при проектировании реактивных снарядов специального назначения, масштабы производства которых значительно меньше. При грамотном и умелом проектировании конструктор всегда сумеет подобрать материалы для реактивного снаряда, назначить размеры на детали снаряда, по существующим стандартам.

ГЛАВА IV

РАСЧЕТ, КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА

§ 32. ВВЕДЕНИЕ

На основе полученного тактико-технического задания, после определения основных параметров снаряда, конструктор приступает к разработке проектных чертежей, по которым затем изготавливаются рабочие чертежи деталей и сборок. По рабочим чертежам изготавливается либо опытный образец, либо опытная партия. Поэтому уже в проектных чертежах должны быть разрешены все расчетные, конструктивные и технологические вопросы, относящиеся как к отдельным деталям, так и ко всему снаряду в целом.

Ряд общих вопросов проектирования реактивных снарядов, как-то: методы получения заготовок для реактивных снарядов, термическая обработка деталей реактивных снарядов, методы получения требуемой чистоты поверхности, имеют много схожего с аналогичными вопросами, встречающимися в общем машиностроении. Поэтому при рассмотрении этих вопросов очень кратко излагаются основные принципы, полагая, что в случае необходимости проектант сам сможет обратиться к соответствующим руководствам. В приложениях 4 и 5 приведены таблицы классификации поверхностей по группам и классам чистоты (по ГОСТ 2789-45), а также таблица чистоты поверхности, соответствующей различным методам обработки. Укажем здесь кстати, что хотя введение названного ГОСТа и является крупным шагом вперед в деле упорядочения важного вопроса о стандартизации чистоты поверхности, внедрение установленных норм в производстве реактивных снарядов идет крайне медленно. Вопросы специальной технологии, как например технология химпокрытий, относящиеся к более узкому кругу деталей, изложены при рассмотрении изготовления этих деталей.

При изучении отдельных деталей реактивного снаряда наиболее важными вопросами, подлежащими рассмотрению, на наш взгляд, являются следующие:

а) служебные требования, предъявляемые к детали;
б) возможные конструктивные формы;
в) необходимая точность изготовления;

г) применяемые материалы;
д) методы расчета и расчетные формулы;
е) особенности технологии изготовления и возможные случаи брака в производстве.

§ 33. МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Для производства реактивных снарядов применяется большое число самых разнообразных материалов: металлы (сталь, латунь, свинец), пластмассы, керамика, химикаты, краски, лаки, нефтепродукты, текстиль, бумага, асбест и т. д. В приложении 6 дан краткий перечень основных и вспомогательных материалов, применяемых в производстве реактивных снарядов. Здесь мы остановимся лишь на рассмотрении металлов, которые в основном определяют тактико-технические данные снаряда. Ранее указывалось, что отсутствие больших сил инерции при выстреле позволяет предъявить к материалу реактивных снарядов менее жесткие требования, чем в артилерийских снарядах. В громадном большинстве случаев можно обойтись простыми углеродистыми или же конструкционными углеродистыми сталями. Это видно из табл. 20, в которой указаны марки сталей, применяемые для деталей отечественных реактивных снарядов.

Таблица 20

Снаряд	Детали					
	корпус боевой части	реактивная камора	дно	диафрагма	сопло	лопасти стабилизатора
М-13	С-45; С-50; С-55; С-60	С-50; С-55;	С-45; С-50; С-55; С-60	Ст. 3	С-45; С-50; С-55; С-60	декапированная или оцинкованная тонколистовая сталь
М-31	сталь листовая любых марок	С-50; С-55	С-45; С-50; С-55; С-60	Ст. 3;	С-45 С-50; С-55; С-60	декапированная или оцинкованная тонколистовая сталь

Анализ химического состава и химических свойств сталей для немецких реактивных снарядов показал, что в основном эти стали соответствуют отечественным обычным углеродистым и конструкционным углеродистым сталям.

Некоторые детали реактивных снарядов немцы изготовляли из чугунов и специальных сталей, легированных марганцем (до 0,7—1%). Диафрагма 80-мм оперенного немецкого снаряда изготавливалась из серого чугуна следующего состава: С — 3,6%, Mn — 0,23%, Si — 2,4%, P — 0,5%; присадка кремния придает чугуну жаростойкость, а присадка фосфора — текучесть, так как диафрагма имеет относительно сложную форму.

При изготовлении турбинок применяются также жароупорные стали для предохранения отверстий от размывания.

Перья стабилизаторов фауст-патронов изготовлялись из ленточной пружинной стали следующего химсостава:

$C = 0{,}68\%$; $Mn = 0{,}45\%$; $Si = 0{,}39\%$; $P = 0{,}057\%$.

Временное сопротивление такой стали $\sigma_B = 164 - 170$ кг/см².

Для скрепления каморы снарядов «Дратмантель» немцы применяли струну из легированной стали, которая (по данным, проведенных у нас в Союзе, испытаний) имеет временное сопротивление 180 кг/мм².

Отдельно должен быть разобран вопрос о применении высоколегированных сталей для изготовления реактивных камор. Учитывая большую стоимость этих сталей, их дефицитность во время войны, можно рекомендовать применение легированных сталей для снарядов, у которых необходимо получить повышение начальных скоростей, и в реактивной каморе которых требуется высокое давление (противотанковые реактивные снаряды, снаряды для вооружения самолетов и др.). У нас наибольшее применение для изготовления высокопрочных камор получила термообработанная сталь 30Х.Г. С.А. (хромансиль).

§ 34. ПОЛУЧЕНИЕ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ РС

В производстве деталей реактивных снарядов применяются почти все существующие методы для получения заготовок — прокат, литье под давлением, точная объемная штамповка, штамповка жидкого металла, холодная штамповка, горячая штамповка и т. д.

Цельнотянутые катанные трубы могут применяться для изготовления реактивной каморы, корпуса боевой части, крышки-сопла и других деталей. Листовой прокат применяется для изготовления корпуса боевой части, стабилизаторов, диафрагм. Катанная прутковая сталь применяется для изготовления направляющих штифтов, деталей пиросвечи, штуцеров. В тех случаях, когда прокат применяется без дополнительной механической обработки, особенное внимание следует обращать на точность проката, так как применение проката с завышенными или заниженными допусками приводит к появлению тяжеловесов или легковесов, а в ряде случаев делает сборку невозможной.

Литье применяется для получения заготовок боевой части, диафрагм, промежуточных доньев. Литье заготовок для реактивных снарядов часто производится из малоуглеродистых сталей.

Холодная штамповка находит широкое применение для изготовления тонкостенных корпусов боевой части, стабилизаторов, диафрагм и т. д. При изготовлении детали или заготовки холодной штамповкой надо проверить, обеспечивает ли принятый метод штамповки необходимую точность.

Получение заготовок методом горячей штамповки в производстве деталей реактивных снарядов (боевая часть, реактивная камора, промежуточное дно, крышка-сопло, турбинка) является основным и требует более подробного рассмотрения.

Для получения заготовок реактивных снарядов чаще всего используют штамповку, изготовляемую из сталей С-45, С-50, С-55, С-60. Нагрев заготовок под штамповку ведется обычно в методических или полуметодических печах. Температура нагрева 1100—1200°, среднее время нагрева 10 мин. на 1 см толщины металла. Температура при окончании обработки не ниже 850°. Штамповать детали всегда необходимо поплавочно. Охлаждать детали надо на сухом полу. Еще лучше накрывать охлаждаемые детали колпаками. После штамповки детали обычно подвергаются контролю по геометрическим размерам (главным образом по разностенности), а детали, изготавливаемые из наиболее мягкой стали С-45 — контролю по твердости. Затем производится клеймение номера плавки.

Наиболее типичными случаями брака при штамповке являются:

1. Разностенность, которая получается в результате плохой настройки прессов и некачественного иструмента.

2. Внутренние и наружные рванины и трещины, являющиеся результатом недостаточного нагрева заготовок под штамповку и плохой очистки и смазки инструмента при штамповке.

3. Пережог и перегрев металла в процессе нагрева под штамповку являются результатом завышенной температуры нагрева и слишком большой выдержки в печи при температуре штамповки.

4. Завышенные припуски на механическую обработку против припусков, установленных чертежом, что является результатом завышенных размеров на длине заготовок под штамповку.

5. Наличие на поверхности заготовок большого слоя окалины, что является результатом резко окислительной атмосферы при нагреве металла под штамповку.

6. Невыдержанные геометрические размеры, установленные чертежом, в результате износа инструмента, неоднократного нагрева заготовок, немерной величины заготовок.

§ 35. ТЕРМООБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

В производстве реактивных снарядов термообработке подвергаются детали порохового реактивного двигателя (реактивная камора, сопловая крышка, промежуточные донья), нагруженные давлением пороховых газов. В результате повышения механических характеристик металла после термообработки, снаряд получается более легким и при прочих равных условиях получает большую скорость. К некоторым деталям, например к сопловой крышке, предъявляются высокие требования по чистоте поверхности критического сечения сопла и раструба. Термообработка облегчает выполнение этих требований.

После термообработки детали реактивного двигателя не должны обладать слишком большой твердостью по двум причинам. Во-первых, детали, подвергающиеся термообработке, в большинстве случаев тонкостенные и подвержены короблению; для правильной геометрической формы они после термообработки подвергаются добавочной механической обработке. Во-вторых, нарастание давления в реактивной каморе происходит в сотые, а иногда и в тысячные доли секунды, что равносильно ударной нагрузке и, стало быть, эти детали должны обладать не только высокой прочностью, но и вязкостью. Обычно детали реактивного снаряда подвергаются закалке в масло с последующим высоким отпуском.

Детали после черновой механической обработки, скомплектованные по плавкам и принятые годными отделом технического контроля механического цеха, поступают на термическую обработку.

Нагрев деталей чаще всего производится в проходной, полуметодической печи. Детали загружаются на подовые брусья, проталкиваемые толкателем (обычно гидравлическим). Режим нагрева для сталей С-55, С-60 примерно следующий:

нагрев при 820—850°С в течение 60—65 мин.,
выдержка при 860—890°С в течение 10—20 мин.

Охлаждение в масле (веретенное № 3) с вязкостью по Энглеру 2,8—3,2, при температуре 50°С. Температура масла в процессе охлаждения должна быть 30—80°С и контролируется в процессе работы ОТК не менее 3-х раз в смену.

Для охлаждения длинные детали (например реактивная камора) опускаются в вертикальном положении. Время охлаждения деталей в масле около 5 мин. Для контроля качества закалки ОТК обязано проводить периодический или 100% контроль твердости в зависимости от ответственности детали. После закалки деталей производится высокий отпуск. Нагрев производится в тех же полуметодических печах до температуры 530—660°С. Время нагрева 50—60 мин. Время выдержки при заданной температуре 20—25 мин. В случае несоответствия полученной твердости после отпуска де-

тали могут подвергаться повторному отпуску и закалке. Повторную закалку разрешается производить не более одного раза.

Периодически либо от каждой плавки производятся механические испытания термообработанных образцов на испытательных машинах.

Наиболее типичными примерами брака при термообработке деталей являются следующие:

1. Пониженная твердость после закалки, которая получается в результате завышенной температуры или недостаточного количества охлаждающей среды. К тем же результатам может привести долговременная эксплоатация закалочного масла, в результате чего теряется его закалочная способность. Для устранения этого недостатка необходимо систематически контролировать температуру закаливающего масла и сменять его не реже одного раза в 1½—2 месяца.

2. Низкая твердость может получиться также в результате неправильной температуры в закалочной и отпускной печах, для чего нужен систематический контроль температуры печей.

3. Брак может получиться в результате значительного слоя окалины на поверхности изделий. Для уничтожения этого вида брака необходимо при нагреве изделий под закалку поддерживать в печи восстановительную атмосферу с положительным давлением газа.

4. При термической обработке деталей, в особенности тонкостенных, часто бывают случаи, когда изделия меняют свою геометрическую форму по длине, наружному и внутреннему диаметрам. Этот вид брака получается в результате неравномерного нагрева изделий в печи под закалку, а также в результате неправильного охлаждения в закалочном баке. Для ликвидации этого вида брака необходимо, чтобы температура в окончательной зоне нагрева была одинаковой, а охлаждение изделий в масле производилось по технологическому процессу.

5. Брак по волосовинам, расслоениям, закатам обнаруживается после термической обработки и является результатом металлургических дефектов металла и некачественной штамповки.

6. Брак по механическим показателям (пределу пропорциональности и относительному сужению) может быть также результатом поставок некачественного металла.

§ 36. БОЕВАЯ ЧАСТЬ РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА

Боевая часть любого реактивного снаряда предназначена для того, чтобы произвести действие у цели, определяемое типом, назначением и могуществом снаряда. Конструкция боевой части реактивного снаряда зависит от назначения снаряда, от взаимного расположения боевой и реактивной частей, от калибра снаряда, принятого метода снаряжения и других факторов.

Главнейшими деталями боевой части снаряда являются: корпус, ВВ, добавочный детонатор, осветительные звездки с парашютами и вышибным зарядом в осветительных снарядах, облицовка кумулятивного заряда и кумулятивная воронка в кумулятивных снарядах, т. е. те же детали, которые имеются в снарядах ствольной артиллерии общего и специального назначения. В боевой части реактивного снаряда обычно крепится взрыватель или трубка.

Боевое действие реактивного снаряда у цели определяется в основном действием его боевой части, хотя, как уже указывалось ранее, в некоторых случаях осколочное действие боевой части может быть усилено осколочным действием реактивной каморы при дроблении ее на осколки дополнительным зарядом ВВ.

1. Боевое действие реактивных снарядов у цели

Можно полагать, что действие фугасных, осколочных и осколочно-фугасных реактивных снарядов мало отличается от действия аналогичных снарядов ствольной артиллерии. При стрельбе по бетонированным и бетонным преградам реактивными снарядами применяются почти исключительно кумулятивные снаряды, что объясняется меньшими скоростями реактивных снарядов и значительным увеличением кумулятивного эффекта при стрельбе оперенными невращающимися снарядами. Поэтому при рассмотрении действия реактивных снарядов у цели воспользуемся формулами, заимствованными из курса боеприпасов ствольной артиллерии.

А. Ударное действие снарядов

Как известно, все типы снарядов обладают ударным действием, эффективность которого зависит от величины кинетической энергии снаряда в момент его встречи с преградой, определяемой формулой

$$E_c = \frac{q\, v_c^2}{2g},$$

где

q — вес снаряда,

v_c — скорость снаряда при встрече с преградой.

Кинетическая энергия снаряда при встрече с преградой расходуется на преодоление связи между частицами среды (статическая работа), на преодоление инерции массы среды (динамическая работа) и на деформацию снаряда. В расчетных формулах эта последняя работа не учитывается из-за сложности происходящих явлений, хотя непосредственные опыты показывают в некоторых условиях решающее влияние дефор-

мации снаряда на глубину его проникания в преграду. Характеристиками ударного действия в преграду являются либо длина пройденного в преграде пути S, либо величина l, измеренная по нормали к преграде (рис. 142). Прямолинейный путь снаряда по линии $a-a$ наблюдается в том случае, если угол падения Θ_c лежит в пределах $40° < \Theta_c < 90°$. Если угол Θ_c меньше 40°, то в зависимости от свойства разрушаемой преграды, формы, веса и калибра снаряда, скорости снаряда и других факторов, движение снаряда может происходить по некоторой кривой $a-b$, или даже снаряд может просто рикошетировать.

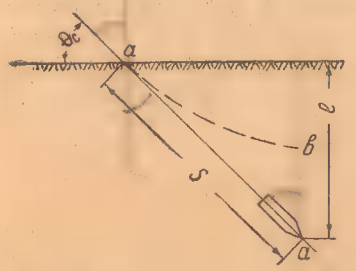


Рис. 142. Проникновение снаряда в преграду.

Определить величины S и l, а также время проникновения снаряда на эту глубину можно по эмпирическим и полуэмпирическим формулам или по готовым таблицам, в которых дан путь снаряда в преграде, как функция параметров снаряда, его скорости и характеристик преграды.

Из полуэмпирических формул для подсчета пути снаряда в преграде S наиболее известна следующая

$$S_{max} = m \cdot \xi \cdot P_S,$$

где P_S — поперечная нагрузка, равная $\frac{q}{\pi R^2}$, а коэффициенты m и ξ зависят от скорости снаряда и материала преграды и приводятся в курсах боеприпасов[1].

Полное время проникания снаряда в прегаду, считая его движение в среде равнозамедленным,

$$T = \frac{2 \cdot S_{max}}{v_c},$$

где v_c — скорость снаряда при ударе в преграду в м/сек.

Из эмпирических формул чаще всего применяется Березанская формула

$$l = K_п \frac{q}{d^2} v_c \cos \alpha,$$

где:

l — величина углубления в метрах (рис. 142);

$K_п$ — коэффициент, характеризующий свойства среды;

[1] Третьяков Г. М., Боеприпасы артиллерии, изд. Артакадемии, 1946 г., стр. 124—125.

q — вес снаряда в килограммах;

d — калибр снаряда в сантиметрах;

α — угол от нормали к преграде.

Значения коэффициента $K_п$ приведены в табл. 21.

Таблица 21

Материал преграды	Коэффициент $K_п$
Свеженасыпная земля	0,13—0,15
Глинистый грунт	0,10
Грунт средней плотности	0,11—0,13
Плотный грунт	0,06—0,085
Глина плотная	0,07
Песчаная насыпь	0,09
Песок слежавшийся	0,045
Кирпичная кладка	0,02—0,025
Булыжный камень	0,025
Известняк или песчаник	0,02
Слабый бетон	0,012—0,015

При явлениях рикошета пользоваться приведенными формулами для определения глубины проникновения снарядов в преграду нельзя.

Б. Фугасное действие снарядов

Благодаря ударному действию снаряда, он проникает на некоторую глубину и при разрыве действием газов взрывчатого вещества земля выбрасывается вверх и во все стороны, образуя воронку (рис. 143).

В воронке различают: сферу сжатия A, где частицы среды разрушены и сжаты: сферу разрушения B, где происходит нарушение связи между частицами среды и выбрасывание их: сферу сотрясения C, где происходит сотрясение среды.

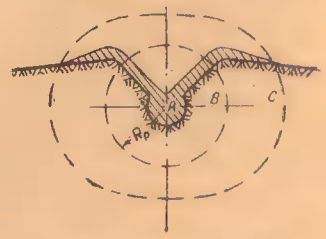


Рис. 143. Воронка.

Наибольшее значение для действия по оборонительным сооружениям имеет сфера разрушения, радиус которой может быть определен по следующей формуле

$$R_р = K_р \sqrt[3]{\omega},$$

где:

$R_р$ — радиус сферы разрушения в метрах;

ω — вес разрывного заряда в килограммах;

$K_р$ — коэффициент, характеризующий свойства среды и выбираемый из табл. 22.

Таблица 22

Среда	K_p
Рыхлая земля	1,4
Целина	1,07
Песок	1,00—1,04
Глина с песком	0,96
Известняк и песчаник	0,92
Каменная накладка	0,84

В артиллерийской практике за меру фугасного действия принято считать величину $\frac{W}{\omega}$,

где:

W — объем воронки в м³.

ω — вес разрывного заряда в килограммах.

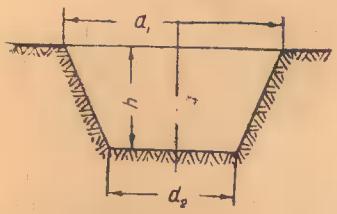


Рис. 144. Упрощенное сечение воронки.

Эта величина зависит от количества и качества заряда *ВВ*, углубления снаряда в землю, физических свойств среды.

Наивыгоднейшее фугасное действие по обычным грунтам получается при диаметре воронки (рис. 144) $d_1 = 2h \div 3h$. При этом 1 кг *ВВ* (тротила) способен выбросить 2 — 2,5 м³ земли.

Объем воронки в этом случае

$$W \approx 0{,}38\ d_1 d_2 h.$$

Если

$$d_1 = 3h \div 3{,}8h,$$

то

$$\frac{W}{\omega} = 1{,}2 \div 1{,}5\ \text{м}^3/\text{кг}.$$

Объем воронки в этом случае $W \approx 0{,}33\, d_1 d_2 h$.

Наконец, при $d_1 = 3{,}9 \cdot h \div 4{,}5\ h$

$$\frac{W}{\omega} = \frac{2}{3}\ \text{м}^3/\text{кг}$$

и

$$W \approx 0{,}29\ d_1 d_2 h.$$

Дальнейшее уменьшение глубины воронки по сравнению с диаметром для фугасного действия невыгодно.

В. Осколочное действие снарядов

Убойным осколком называется осколок, весящий не менее 5 г при действии по живым целям и не менее 20 г при действии по самолетам. Для обеспечения убойности по живой силе необходимо, чтобы кинетическая энергия осколка была не менее 10 кгм.

Осколочное действие снарядов определяется: количеством убойных осколков, радиусом действия или убойным интервалом и распределением осколков на поражаемой площади (наземная артиллерия) или в поражаемом пространстве (зенитная артиллерия).

Количество убойных осколков зависит от толщины стенок и механических свойств металла корпуса, от количества и свойств ВВ и характера детонации.

Для ориентировочного подсчета числа осколков, получающихся при разрыве, можно пользоваться формулой Юстрова

$$N = \beta \frac{\omega}{d} \cdot \frac{\sigma_e}{\sigma_в \delta} \cdot \frac{\varkappa^2 + 0{,}5}{\varkappa^2 - 1},$$

где:

N — число осколков;

β — коэффициент, зависящий от свойств ВВ (для тротила 46, для аммонала 40, для амматола 30);

ω — вес разрывного заряда в граммах;

d — калибр снаряда в сантиметрах;

σ_e — предел упругости металла в кг/мм²;

$\sigma_в$ — временное сопротивление металла разрыву в кг/мм²;

δ — относительное удлинение в процентах;

$\varkappa$ — коэффициент, зависящий от конструкции снаряда и принимаемый в зависимости от коэффициента наполнения:

Коэффициент наполнения	7%	10%	15%
$\varkappa$	1,8	1,5	1,4

После определения числа осколков следует найти средний вес осколка.

Опытное изучение осколочности различных снарядов показывает, что в наилучшем случае из 1 кг металла можно получить не более 50—55 осколков весом более 5 г.

Площадь сплошного и действительного поражения реактивными осколочными и осколочно-фугасными снарядами может быть принята равной площади сплошного и действительного поражения снарядами ствольной артиллерии того же калибра.

Г. Бронебойное и бетонобойное действие

Действие бронебойных снарядов складывается из ударного действия по пробиванию брони, которое является главным, и, последующего — осколочного, фугасного и зажигательного действий. Бронебойное действие снаряда определяется эмпирической формулой Жакоб де-Марра

$$v_c = K \frac{d^{0,75}\, b^{0,7}}{q^{0,5} \cdot \cos \alpha},$$

где:

v_c — скорость снаряда в м/сек., необходимая для пробивания брони;

K — опытный коэффициент, зависящий главным образом от свойств брони и снаряда и условий стрельбы; для снарядов с притуплением этот коэффициент колеблется от 2000 до 3000—для гетерогенной и гомогенной брони высокой и средней твердости и от 1600 до 2000—для брони низкой твердости;

d — калибр снаряда в дециметрах;

b — толщина брони в дециметрах;

q — вес снаряда в килограммах;

α — угол от нормали к броне.

Формула Жакоб де-Марра подобрана для условия равенства живой силы снаряда и работы сопротивления брони, вследствие чего ею можно пользоваться лишь для достаточно близких между собой значений d и b.

Действие бетонобойных снарядов складывается в основном из ударного и фугасного. Для расчета глубины проникания в преграду в первом приближении можно пользоваться Березанской формулой, при значениях $K_п = 0{,}005$—для бетона высшего качества и $K_п = 0{,}015$—для бетона низшего качества. С большей точностью глубина проникновения в преграду может быть подсчитана по формуле АНИОП

$$l = A_1 K_п \frac{q}{d^2} \cdot v_c \cdot \frac{\cos(n\alpha)}{\sqrt{\cos \alpha}},$$

где:

l — глубина проникания снаряда в метрах;

A_1 — коэффициент, характеризующий форму головной части снаряда и равный для дальнобойных снарядов 1,30; для недальнобойных и тупоголовых снарядов 1,0;

$K_п$ — коэффициент, зависящий от свойств бетона и равный для бетона старых марок $90 \cdot 10^{-8}$, для бетона новых марок $80 \cdot 10^{-8}$;

n — коэффициент поворота снаряда в преграде, равный для дальнобойных снарядов 1,72 — 1,82, для недальнобойных снарядов 2,62;

q — вес снаряда в килограммах;

d — калибр снаряда в метрах;

v_c — скорость снаряда при ударе в м/сек;

α — угол от нормали к преграде.

Д. Действие кумулятивных снарядов

Кумулятивные реактивные снаряды предназначаются главным образом для действия по бронированным и бетонным преградам. При действии по броне невращающегося снаряда, если выбраны оптимальные размеры кумулятивного заряда, можно считать, что толщина пробиваемой брони равна 2,0—2,5 калибра снаряда.

Если известен вес ВВ, то можно подсчитать толщину пробиваемой брони по следующей опытной формуле:

$$l_б = 7{,}4\omega^{0,46},$$

где:

$l_б$ — толщина пробиваемой брони в миллиметрах;

ω — вес ВВ в граммах.

Для определения толщины пробиваемой бетонной преграды приходится пользоваться непосредственными результатами опытных стрельб.

2. Служебные требования к боевой части

Независимо от конструкции и назначения, к боевой части всякого реактивного снаряда могут быть предъявлены следующие основные служебные требования:

1. Надежное соединение боевой и реактивной частей, которое может быть выполнено как неразъемное (сварка, закатка, соединение на карбинольном клее), и разъемное соединение (резьбовые, шпоночные, клиновые, штифтовые). В практике получили преимущество разъемные соединения, как более удобные в технологии и при служебном обращении (транспортировка, хранение, ремонт).

2. Герметичность боевой части. В первую очередь должна быть исключена возможность прорыва пороховых газов из реактивной каморы в боевую часть. С этой целью можно рекомендовать изготовление либо реактивной части, либо боевой части с глухим дном, что приводит иногда к ухудшению технологичности снаряда при изготовлении и сборке.

3. Соосность боевой и реактивной частей. Несоблюдение этого требования приводит к большим геометрическим эксцентриситетам, которые значительно ухудшают кучность снарядов.

На рис. 145, *а, б, в* показано резьбовое соединение боевой и реактивной частей. Во всех трех случаях прочность резьбового соединения вполне достаточная, однако требования герметичности и соосности выполняются по-разному. На рис. 145,*а* изображено соединение посредством муфты (3), применявшееся в первых образцах снаряда М-8. При такой конструкции, в особенности при плохом качестве резьбы, может происходить прорыв пороховых газов из реактивной каморы в боевую часть и, как следствие этого, разрыв снаряда. Вторым недостатком этой конструкции является возмож-

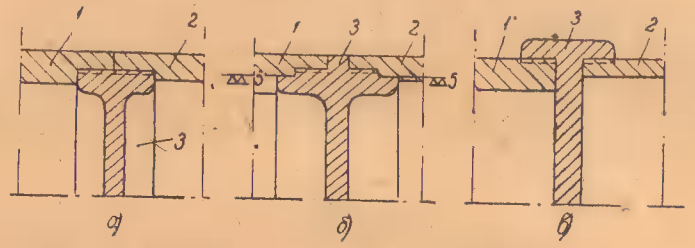


Рис. 145. Схема соединения боевой части с реактивной.

ность расширения каморы при недостаточной толщине стенки и срыв ее с муфты (3). В конструкции, изображенной на рис. 145, *б*, полностью устраняется прорыв пороховых газов в боевую часть через резьбовое соединение. Одновременно здесь предусмотрены две цилиндрические площадки, предназначенные для центрования боевой и реактивной частей. Следует заметить, что из-за небольшой длины этих центрующих площадок, они незначительно улучшают соосность боевой и реактивной частей. Параллельное смещение осей боевой и реактивной частей будет ограничиваться резьбовым соединением, изготовляемым обычно по 2 классу точности, а не центрующими площадками, на которые обычно назначается допуск по 4 классу точности. На уменьшение перекоса эти центрующие площадки имеют малое влияние, так как для предохранения от перекоса необходимо, чтобы длина центрующей площадки равнялась примерно ее диаметру. На рис. 145, *в* изображена схема соединения боевой и реактивной частей, применяемая в некоторых немецких снарядах (73-мм агитационный снаряд). Такое соединение гарантирует достаточную надежность от прорыва пороховых газов и прочность соединения боевой и реактивной частей даже при относительно большом (3—4 сек.) времени горения порохового заряда. Недостатками такой конструкции является увеличение калибра снаряда, что ухудшает его баллистику и трудности в изготовлении муфты, сравнительно с вариантом по рис. 145, *а* и *б*.

4. Удобство заполнения боевой части ВВ, ОВ, литературой,

звездками или другим снаряжением, что имеет значение, в первую очередь, для фугасных, химических, дымовых и тому подобных снарядов с большим количеством снаряжаемого вещества. Наиболее просто производится снаряжение боевой части, дно которой открыто (рис. 146,*а*).

Такая конструкция допускает высокопроизводительные методы футлярного снаряжения. Удобно также производить заливку ВВ, при этом оставшуюся после литья прибыль следует отколоть и торец зачистить на горячей плите. Корпус боевой части надо проектировать так, чтобы резьба была выполнена наружной, а не внут-

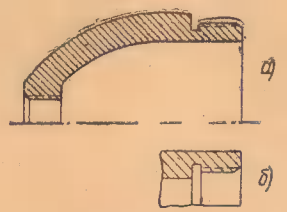


Рис. 146. Схемы боевой части снаряда.

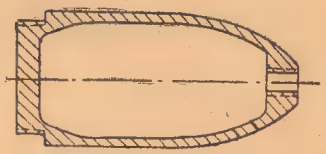


Рис. 147. Корпус боевой части с закрытом дном.

ренней (рис. 146, *б*), так как в последнем случае она заливается тротилом, а последующая зачистка резьбы — операция длительная и опасная.

Конструкция боевой части, изображенная на рис. 147, полностью напоминает артиллерийский снаряд и хорошо освоена в производстве. При этом уменьшается число деталей, что улучшает соосность реактивного снаряда и гарантируется невозможность прорыва пороховых газов. Применение такой конструкции боевой части разумно в снарядах среднего и малого калибров. В снарядах крупных калибров большое поднутрение не даст возможности качественого снаряжения ни заливкой, ни шнекованием. В ряде случаев целесообразно ставить переходную втулку, в которой крепится взрыватель и которая вывертывается при наполнении ВВ. Кроме того, в снарядах крупных калибров обработка внутренней поверхности боевой части при подобной конструкции либо весьма затруднительна, либо даже невозможна. Применение таких конструкций можно рекомендовать там, где боевая часть изнутри имеет черный, необработанный вид и где допуск на разностенность более грубый.

5. Удобство и надежность крепления взрывателя. К реактивным снарядам применяются трубки и взрыватели — головные и донные. Головные взрыватели в большинстве случаев соединяются резьбой, либо непосредственно в боевой части, либо в переходной втулке (в тех случаях, когда стенка корпуса боевой части очень тонкая, или необходимо делать большое очко для быстрого наполнения ВВ). Каких-либо особых конструктивных затруднений при постановке

головных взрывателей не встречается. Очковая резьба под взрыватель изготавливается, как для обычных артиллерийских снарядов, по второму классу точности. Однако требование такой точности в условиях массового производства, в особенности в военное время, может привести к значительному проценту брака (до 50%). Основными причинами брака в большинстве случаев бывает, при наиболее распространенном методе нарезки резьбы — резьбофрезеровании, ошибки шага и угла профиля резьбофрез и ошибки в изготовлении резьбовых копиров для резьбофрезерных станков. В то же время при креплении взрывателя должны быть обеспечены следующие основные требования:

1. Прочность соединения на срез, изгиб и смятие.

2. Минимальный перекос взрывателя.

3. Невозможность самоотвинчивания взрывателя при транспортировке.

4. Минимальный допустимый эксцентриситет оси взрывателя к оси корпуса.

Проведенные теоретические расчеты [1] и опытные испытания для осколочно-фугасных снарядов показали, что вполне возможно очковую резьбу перевести со 2 на 3 класс точности без ухудшения боевых свойств снарядов.

При постановке донных взрывателей особое внимание следует обратить на предохранение их от действия давления и температуры пороховых газов. В некоторых случаях это давление и температура могут быть использованы для взведения взрывателей.

5. Удобство сборки боевой части по элементам и сборки боевой части с реактивной каморой. Это требование, с одной стороны, обеспечивает наибольшую производительность при изготовлении боеприпасов реактивной артиллерии и, с другой стороны, облегчает работу расчета в тех случаях, когда боевая и реактивная части хранятся отдельно и сборка их производится в непосредственной близости от огневой позиции.

6. Предохранение от порчи и коррозии при длительном хранении и при транспортировке. Выполнение этого требования производится конструированием надлежащей укупорки и применением антикоррозийных покрытий.

Теперь перейдем к рассмотрению боевой части снарядов различного назначения.

Будем считать, что область применения реактивных снарядов определенного назначения та же, что и подобных артиллерийских снарядов.

---

[1] Красинский, Юшков, Антонов, «О переводе очковой резьбы осколочно-фугасных снарядов со 2 на 3 класс точности». НТБ. МСХМ. № 5—6, 1946 г.

3. Боевая часть осколочных и осколочно-фугасных реактивных снарядов

Из-за отсутствия больших сил инерции при выстреле толщина стенок боевой части реактивных снарядов значительно меньше толщины стенок артиллерийских снарядов. Например, толщина стенок артиллерийских фугасных снарядов равна 1/10—1/15 калибра; такую же толщину стенки имеют осколочные и осколочно-фугасные реактивные снаряды. Не рассматривая осколочные снаряды с готовыми осколками, можно считать, что относительный вес и размеры у осколочных и осколочно-фугасных реактивных снарядов примерно одинаковы. В тех случаях, когда реактивный снаряд имеет малый калибр и, следовательно, малый вес ВВ, фугасное действие его невелико и он используется как осколочный. При больших калибрах разумно иметь осколочно-фугасный снаряд. В тех случаях, когда реактивный снаряд предназначен только для осколочного действия, разумно помещать боевую часть позади реактивной.

Характеристики боевой части осколочных и осколочно-фугасных реактивных снарядов видны из табл. 22 а.

Таблица 22а

Снаряд	Толщина стенки (в калибрах)	Длина (в калибрах)	$q'_б/D_н^3$	$\omega_{вв}/D_н^3$	$\omega_{вв}/q'_б$%
Оперенный	≈ 0,1	до 6	5—15	2—4	15—35
Турбореактивный	≈ 0,1	до 4	3— 8	1,0—2,0	15—35

$q'_б$ — вес собственно боевой части.

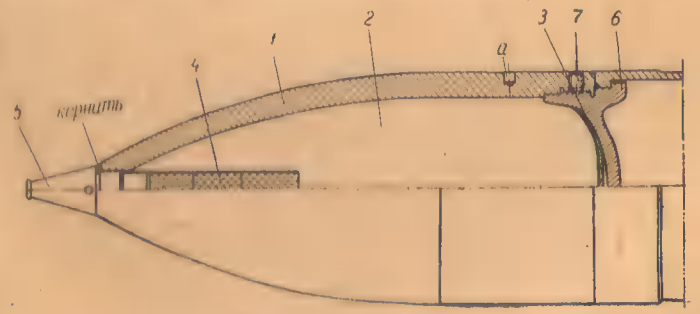


Рис. 148. Боевая часть осколочно-фугасного снаряда.

На рис. 148 изображена типовая конструкция боевой части осколочно-фугасного снаряда.

Форма оживальной части выбирается в зависимости от скорости в соответствии с рекомендациями, приведенными в § 30. Дном корпуса служит дно реактивной каморы, хотя во многих случаях дно рекомендуется делать за одно целое с корпусом. Имеется прокладка (3), изготовленная из картона или асбеста, которая назначается для поджатия и теплоизоляции заряда ВВ. Корпус наполняется ВВ, причем для приклеивания служат различные мастики на парафине, церезине и др. Иногда ВВ может вставляться в футляре. В гнездо ВВ вставляется добавочный детонатор, обычно тетриловая и тротиловая шашки. Вес добавочного детонатора подбирается опытным путем и колеблется в довольно широких пределах от 0,5 до 6%. Гнездо под шашку, которая ставится на парафине, не лакируют. Внутреннюю поверхность каморы покрывают асфальтовым или шеллачным лаком на механическом заводе. На снаряжательном заводе эту поверхность проверяют и устраняют возможные дефекты; лаковая пленка не должна иметь просветов, отслаивания, пузырчатости, побеления и инородных включений. Корпус боевой

Таблица 23

Материал	Химсостав в процентах					Предел пропорциональности кг/мм²	Примечание
	C	Mn	Si	P (не более)	S (не более)		
C-45	0,40—0,50	0,50—0,80	0,17—0,40	0,08	0,06	не менее 28 кг/мм²	СССР
C-60	0,55—0,65	0,50—0,80	0,17—0,40	0,08	0,06	не ниже 38 кг/мм²	СССР
Сталь	0,62—0,70	0,30—0,65	0,20—0,35	max 0,12	max 0,06	40	Германия (штампованные снаряды)
Мартеновская сталь	0,48—0,55	0,60—0,75	0,45—0,65	0,08—0,11	0,05—0,08	$\sigma_B \geqslant 40$	Германия (литые снаряды)
Сталь	0,64	0,74	0,04	0,02	0,03	—	Япония
Сталистый чугун	2,7—3,2	0,7—1,2	1,1—2,0	не более 0,35	не более 0,2	19—30	СССР
Кокильноковкий чугун	2,8—3,4	0,3—0,4	0,5—0,8	не более 0,2	не более 0,12	$\sigma_B = 35—60$	СССР

части должен стопориться с реактивной каморой или промежуточным дном. Для стопорения можно использовать нормальные винты для металла.

Для ввертывания боевой части должны быть предусмотрены ключевые отверстия *а* (рис. 148).

В осколочных и осколочно-фугасных снарядах применяются в большинстве случаев головные взрыватели с двумя-тремя установками на мгновенное (осколочное), инерционное (фугасное) и замедленное действия.

Корпус боевой части изготавливается либо литьем из стали или специальных чугунов, либо штампованным из стали. Как правило, корпус боевой части, изготовленный из стали, термообработке не подвергается. В качестве материала для корпуса боевой части могут быть рекомендованы стали и чугуны, данные в табл. 23.

Изготовление корпуса боевой части реактивных снарядов литьем из сталистого чугуна до сих пор не имело успеха, так как такая боевая часть давала много мелких осколков, что объясняется малой пластичностью сталистого чугуна. Считается, что при дроблении корпуса на осколки полезное использование металла стальных штампованных снарядов составляет 90%, сталистого чугуна 60%, серого чугуна 30%. Естественно, что в реактивных снарядах, у которых относительная стоимость боевой части меньше, чем в обычных артиллерийских снарядах, целесообразно изготовлять ее из стали.

Однако ряд обстоятельств (недостаточная осколочность стальных корпусов из-за разрыва их на излишне большие осколки, изготовление новых марок чугунов, обладающих большим временным сопротивлением и большей пластичностью, бóльшая стоимость штампованных боеприпасов, чем литых) позволяет утверждать, что применение литых корпусов боевой части реактивных снарядов вполне целесообразно. Еще в 1944 году [1] были разработаны чугуны, обладающие временным сопротивлением на разрыв 35—50 кг/мм² (применяемая сталь может иметь σ_B =32—35 кг/мм²) и относительным удлинением 2—4%, с достаточно простой технологией производства.

В Германии широкое применение для изготовления боеприпасов получили ковкие чугуны со значительно пониженным содержанием углерода (от 1,7% и выше). Однако получение ковкого чугуна требует наличия электро- или пламенно-отражательных печей, а получение его из вагранок затруднено. Кроме того, отжиг ковкого чугуна длится до 100 часов и, естественно, на таком длительном технологическом процессе нельзя строить производство боеприпасов.

Применение модифицированных чугунов при изготовлении бое-

[1] А. Ф. Ланда, Виды чугунов и чугун для боеприпасов, Производственно-технический бюллетень НКБ № 11—12, 1944.

припасов не получило достаточного развития, так как их изготовление требует расхода примерно 0,5% высококремнистого дефицитного ферросплава, что в условиях военного времени нежелательно.

Наиболее широкое распространение в производстве литых боеприпасов в ствольной артиллерии получил сталистый чугун. Сталистый чугун имеет сопротивление разрыву от 19 до 30 кг/мм^2; эта повышенная крепость объясняется относительно малым содержанием углерода. Но это обстоятельство влечет за собой худшее заполнение формы сталистым чугуном, поэтому при отливке он должен быть перегретым не ниже 1400°С. Из-за малого содержания углерода трудно производить отливку сталистого чугуна в кокиль.

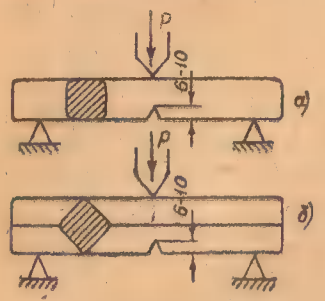


Рис. 149а,б. Схема надрезки и ломки штучных заготовок.

Вообще же следует отметить, что боеприпасы по сравнению с другими изделиями имеют благоприятную геометрическую форму, поэтому успешное изготовление их литыми вполне возможно.

Одним из наиболее обещающих методов производства литых снарядов должно явиться производство литых стальных снарядных корпусов, обеспечивающих наиболее рациональное дробление и лучшую осколочность.

Наибольшее распространение в существующих реактивных снарядах получило изготовление корпуса боевой части из стали методом горячей штамповки.

Изготовление корпуса с черной каморой требует совершенства методов штамповки для получения чистоты каморы, концентричности наружной и внутренней поверхностей корпуса, отсутствия эллиптичности и искривления геометрической оси.

Примерный технологический процесс изготовления корпуса боевой части, изображенного на рис. 147, состоит в следующем.

Заготовка производится из квадратной штанги (для уменьшения разностенности) и состоит из следующих операций:

1. Разделка штанг на штучные заготовки; штанга надрезается автогеном, либо вольтовой дугой, либо фрикционной пилой. Затем штанга ломается на гидравлических прессах. Из двух схем надлома (рис. 149, *а* и 149, *б*) предпочтения заслуживает схема 149, *а*, так как, используя формулы сопротивления материалов, можно показать, что необходимая сила надлома в этом случае будет меньше.

2. Нагрев штучных заготовок для штамповки, причем особенно важно обеспечить равномерный и быстрый прогрев заготовок по всему сечению.

3. Прошивка и протяжка корпуса через матрицы, изображенные на рис. 150.

Основными видами брака при этих операциях является разностенность и заштамповка окалины при прошивке и прокалывание дна, растяжка и разрыв корпусов при протяжке.

Одной из важнейших проблем технологии при производстве корпусов боевой части является уменьшение их разностенности, на величину которой влияют следующие причины:

а) несовпадение оси матрицы с осью прошивного пуансона из-за неточной установки;

б) смещение осей пуансона и матрицы во время прошивки в результате вибрации пресса; эта ошибка зависит от конструкции пресса и степени его износа;

в) изгиб пуансона во время прошивки: эта ошибка зависит от жесткости пуансона (его длины и диаметра);

г) косина торца заготовки; желательно закладывать заготовку в матрицу так, чтобы наименее косой торец попал вверх;

д) колебание размеров сечения заготовки, зависящего от допуска на прокат;

е) неравномерное нагревание металла.

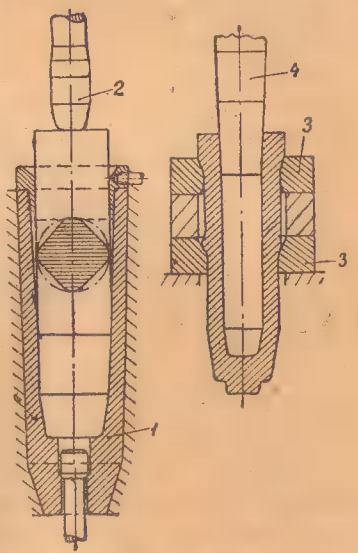


Рис. 150. Схема прошивки и протяжки.

Для уменьшения разностенности необходимо уменьшить влияние перечисленных причин. Кроме того, некоторые теоретические соображения показывают, что разностенность уменьшается при увеличении числа протяжных колец. При этом, естественно, необходимо применять прокат более крупного сечения.

В качестве других мероприятий, уменьшающих разностенность, можно рекомендовать введение в технологический процесс специальной операции «задавки» — впрессовывания заготовки в матрицу. Кроме того, можно рекомендовать раскатку прошитой заготовки на специальном стане с последующей калибровкой.

Механическая обработка корпуса включает примерно следующие операции:

1) центрование заготовки;
2) обдирка поверху, подрезка дна, отрезка прибыли;
3) выборка каморы;
4) получистовая обточка поверху и подрезка дна;

5) горячий обжим корпусов снарядов (производится либо на прессах, либо на редуцир-машине для снарядов с цельным дном);

6) расточка головного очка;

7) нарезка резьбы в головном очке и на донном срезе.

Каких-либо принципиальных трудностей механическая обработка боевой части не представляет.

Наибольшее количество брака получается при нарезке резьбы под очко и для соединения с реактивной каморой. Брак на резьбе (рванины, провал среднего диаметра и перекос резьбы) происходит из-за неправильной установки фрезы, плохого качества самой фрезы и неточной установки детали на станке. Иногда получается брак по разностенности корпуса боевой части, что влияет на смещение центра массы снаряда.

Подробный перечень операций механической обработки корпуса боевой части снаряда М-13 дан в приложении 7.

По техническим условиям военного времени боевая часть снаряда М-13 изготавливалась с черной каморой, причем допуски на оживальную часть были расширены, на внутренней поверхности допускались углубления до 1 мм от окалины, от пригара угля и т. д. Поэтому производилась глубокая прошивка болванки с последующей незначительной обработкой внутренней поверхности каморы.

Ввиду повышенных требований к боевой части по техническим условиям мирного времени было решено увеличивать припуски при штамповке по внутреннему оживалу боевой части с тем, чтобы окончательную расточку произвести черновой и чистовой перками, чтобы получить более жесткие допуски и вывести все черновины, вмятины и углубления.

На боевую часть снаряда М-13 разрешен допуск на вес, равный ± 0,220 кг (при весе корпуса 14,82 кг). Величина этого весового допуска соответствует линейным допускам, если они будут увязаны по методам теории вероятностей, как указано в § 50. Практика показывает, что при изготовлении детали по данным линейным допускам весовой допуск получается в заданных пределах. В тех случаях, если весовой допуск выходит из заданных пределов, производится подгонка корпуса по весу. При подгонке допускается обточка корпуса по внешним габаритам в тех пределах, чтобы он не выходил из заданных линейных допусков и размеров.

Назначение размеров и допусков для штамповки корпуса боевой части включает определение следующих основных размеров:

а) Определение наружного диаметра штампованной заготовки, которое может быть произведено по следующей формуле

$$D_{min} = d + 2\Delta_1 + \delta_2 + 2\Delta_2 + C,$$

где:

D_{min} — минимальный диаметр штамповки;

d — максимальный диаметр обработанного корпуса;

Δ_1 — минимальный припуск (на сторону) на чистовую обработку, выбирается по соответствующим таблицам; для средних калибров (100 — 150 мм) может быть взят 0,3—0,4 мм;

δ_2 — допуск на черновую обработку (может быть взять по 7 классу точности);

Δ_2 — максимальный припуск (на сторону) на черновую обработку; для средних калибров $\Delta_2 \approx 0{,}5$ мм;

C — допускаемая по техническим условиям разностенность штамповки.

б) Допуск на наружный диаметр штампованной заготовки может быть определен по формуле

$$\Delta = D_{min}(t_1 - t_2)\,\alpha + \delta_1 + \delta_2,$$

где:

Δ — допуск на диаметр штампованной заготовки;

D_{min} — минимальный диаметр штампованной заготовки;

t_1 — максимальная температура конца протяжки, принимаемая в 950°С;

t_2 — минимальная температура конца протяжки, принимаемая в 850° С;

α — коэффициент линейного расширения стали, равный 0,0000115 на 1°С;

δ_1 — допуск на изготовление протяжного кольца (принимается по 4 классу точности);

δ_2 — допуск на износ протяжного кольца; практически может быть принят равным 1 мм.

в) Определение минимальной глубины каморы штампованной заготовки может быть произведено по формуле

$$L = l - a + \varepsilon,$$

где:

l — минимальная глубина каморы;

a — минимальный припуск на углубление дна;

ε — минимальная „бахрома“ при отрезке прибыли; практически равняется 7 — 12 мм.

Назначение допусков на обработанный корпус боевой части в большинстве случаев не представляет трудностей. Внутренние размеры каморы делаются обычно черными и поэтому назначаются по классу точности, который может быть получен после штамповки или литья; обычно эти размеры получаются по 7 классу точности. Наружные диаметры, обрабатываемые на станках, выполняются по 5—7 классам точности.

В заключение отметим, что диаметр корпуса боевой части делается примерно на 0,5—1,0% меньше диаметра центрующих утол-

щений на реактивной каморе; поэтому в случае несоосности этих двух деталей боевая часть не будет выходить за габарит реактивной каморы.

Заслуживает внимания конструкция боевой части осколочно-фугасного снаряда, имеющая отросток, снаряженный ВВ, для дробления на осколки реактивной каморы. Особенно важно применение таких отростков в зенитных снарядах для ликвидации камор. Подобная конструкция изображена на рис. 151. Размеры отростка для надлежащего дробления каморы подбираются опытным путем и в существующих конструкциях колеблются в пределах

$$d = \frac{1}{4} \div \frac{1}{5} \text{ калибра} \quad \text{и} \quad l = \left(\frac{1}{3} \div 1\right) L,$$

где L — длина каморы. Основным вопросом, который требуется разрешить при применении подобных конструкций, является надлежащая термоизоляция ВВ от действия высоких температур в каморе.

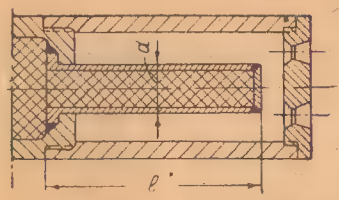


Рис. 151. Схема отростка для дробления каморы.

Опыт показывает, что, применяя соответствующую термоизоляцию, можно вполне надежно предохранить ВВ от нагревания. Примерное определение температуры стенок отростка может быть произведено, используя приводимую ниже методику определения температуры стенок реактивной каморы.

4. Боевая часть фугасных снарядов

Толщина стенки боевой части фугасного реактивного снаряда определяется ее прочностью при действии у цели. Длина боевой части (в калибрах) у оперенных снарядов может быть значительно большей, чем длина боевой части турбореактивных снарядов, которая равна или несколько меньше длины артиллерийских снарядов.

Важнейшие характеристики боевой части фугасных снарядов приведены в табл. 23 а.

Таблица 23 а

Снаряды	Толщина стенки /в калибрах/	Длина /в калибрах/	$\frac{q'_б}{D^3_н}$	$\frac{\omega_{вв}}{D^3_н}$	$\frac{\omega_{вв}}{q'_б} \cdot 0/0$
Оперенный	0,02—0,03	до 8	5—15	3—8	30—60
Турбореактивный	0,02—0,03	до 4	3—8	1,5—3,0	30—60

$q'_б$ — вес собственно боевой части.

При значительном весе боевой части и небольшой дальности возможна конструкция реактивного снаряда, у которого калибр боевой части превышает калибр каморы (снаряды М-31, немецкий 300-мм фугасный снаряд). Однако в этом случае баллистика снаряда получается невыгодной и создаются некоторые неудобства при запуске снаряда с направляющей.

Например, вместо снаряда М-31 можно создать турбореактивный снаряд с одинаковым калибром боевой и реактивной частей, обладающий лучшей кучностью и лучшими другими тактико-техническими данными. В табл. 24 приводятся три варианта фугасных турбореактивных снарядов, имеющих тот же вес ВВ, что и М-31.

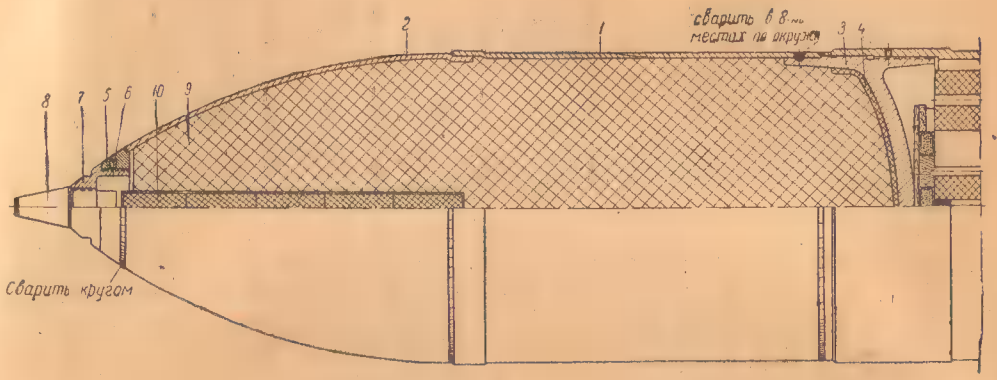


Рис. 152. Боевая часть фугасного снаряда.

В первом варианте общий вес снаряда равен весу М-31; при этом значительно увеличена его дальность и уменьшены габариты. Во втором варианте сохраняется тот же вес порохового заряда, что и у М-31; при этом увеличивается дальность, уменьшаются габариты и общий вес. В третьем варианте сохраняется та же дальность, но при этом уменьшаются общий вес снаряда, вес порохового заряда, габариты снаряда.

На рис. 152 изображена боевая часть фугасного снаряда, имеющего одинаковый калибр боевой и реактивной частей. Корпус боевой части (1) выполнен из цельнотянутой трубы, к которой приварен колпак (2), получающийся путем вытяжки из листового металла и являющийся оживальной частью корпуса боевой части. В месте соединения с колпаком цельнотянутая труба развальцована и образует центрующее утолщение, которым снаряд ведется по направляющим. Другим центрующим утолщением является утолщение на реактивной каморе. При этом необходимо предусмотреть концентричность центрующих утолщений на боевой и реактивной частях. В тех случаях, если длина боевой части невелика, удоб-

нее обл центрующих утолщения располагать на реактивной камере. В этом случае корпус боевой части может быть выполнен из трубы, причем оживальная часть получается осадкой трубы в го-

Таблица 24

Снаряд	Вес ВВ /в килограммах/	Общий вес /в килограммах/	Дальность /в метрах/	Вес порохового заряда /в килограммах/	Габариты /в миллиметрах/	
					$D_н$	L
М-31	28,9	92,5	4300	11,2	300	1730
ТРС № 1	28,9	92,5	7700	17	220	1250
ТРС № 2	28,9	82	6000	11,2	210	1200
ТРС № 3	28,9	70	4300	7,5	200	1150

рячем состоянии. Возможно также изготовление корпуса боевой части из двух половин, выштампованных из листового железа и сваренных продольным швом. В этом случае боевая часть будет иметь бо́льшие искажения геометрической формы, чем при изготовлении ее из трубы.

Во всех случаях корпус боевой части может изготавливаться из наиболее дешевой углеродистой стали любой марки. В цилиндрической части корпус (1) приваривается к штампованному промежуточному дну поперечным швом, а в случае необходимости и электрозаклепками. На дно боевой части помещается термоизоляционная прокладка (4). В тех случаях, когда толщина стенки корпуса боевой части значительна, удобно соединение корпуса и промежуточного дна производить на резьбе, что в значительной степени упрощает снаряжение боевой части. К колпаку (2) приваривается втулка (5), в которую ввертывается переходная втулка (7), стопорящаяся винтом (6). Переходная втулка необходима для облегчения условий снаряжения, так как диаметр резьбового очка под взрыватель слишком мал.

Когда форма корпуса боевой части относительно проста (например, полусфера боевой части снаряда М-31), в производстве боеприпасов целесообразным методом изготовления боевой части и некоторых других деталей реактивного снаряда является, так называемая, штамповка жидкого металла.

Практическое применение получили два метода штамповки жидкого металла — метод инженера Боброва и метод инженера Пляцкого. В первом случае окончательное формообразование и кристаллизация металла происходят без давления, во втором — окончательные фазы штамповки происходят под давлением. Метод Пляцкого более дорогой, требующий наличия более мощного оборудования, но позволяющий получить более точные по размерам и более плотные по структуре детали.

При жидкой штамповке заливка металла производится в открытую форму (матрицу, рис. 153), которая по своему профилю идентична наружному профилю детали. Профиль пуансона соответствует внутреннему профилю изделия. Жидкий металл при температуре 1460 — 1520° заливается в матрицу и затем выдавливается пуансоном под удельным давлением $\simeq 2$ кг/см². По мере подхода пуансона к своему конечному положению избыточный металл вытекает через окна — выпоры, прорезанные в вершине матрицы. Если деталь имеет форму тела вращения, то, чтобы избежать захвата пуансона металлом при его усадке, пуансону к концу операции дается вращательное движение. Матрицы и пуансон имеют водяное охлаждение. Стойкость матрицы и пуансона 150 — 200 изделий.

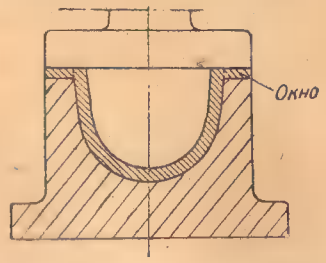


Рис. 153. Схема штамповки жидкого металла.

Ряд трудностей, связанных с рациональными методами штамповки жидкого металла, уже успешно разрешен, некоторые вопросы требуют дополнительного разрешения. Небольшой опыт, который имеется в отечественной промышленности, позволяет сделать следующие выводы:

1. Штамповка жидкого металла является наиболее экономичным процессом в смысле расхода металла. Выход годного металла составляет в среднем 98%.

2. В сравнении с литьем под давлением штамповка жидкого металла позволяет получить заготовки без воздушных включений.

3. В сравнении с горячей штамповкой преимущества штамповки жидкого металла заключаются в том, что возможно получение деталей с более тонкими сечениями, без облоя; при этом отпадает необходимость изготовления мерных заготовок из болванок.

4. Производительность труда по сравнению с отливкой в земляные формы увеличивается в 6—8 раз.

Недостатком подобного метода штамповки металла является малая стойкость пуансона и матрицы.

5. Боевая часть кумулятивных снарядов

Боевая часть кумулятивного снаряда изображена на рис. 154 и состоит из следующих основных деталей: взрыватель (1); промежуточная пластмассовая втулка (2); баллистический колпак (3),

головное сопло (4), роль которого состоит в поджатии кумулятивной струи; прокладка (5); кумулятивная воронка (6); облицовка кумулятивной выемки (7); кумулятивный заряд (8); корпус боевой части (9); центральная трубка для передачи огня капсюлю-воспламенителю (10); линза из инертного вещества (11); капсюль-воспламенитель (12); детонатор (13); соединительная муфта (14).

Как видно из рис. 154, все детали боевой части выполнены штампованными из декапированного железа толщиной 1—2 мм и соединены между собой закаткой или сваркой. Все это дает воз-

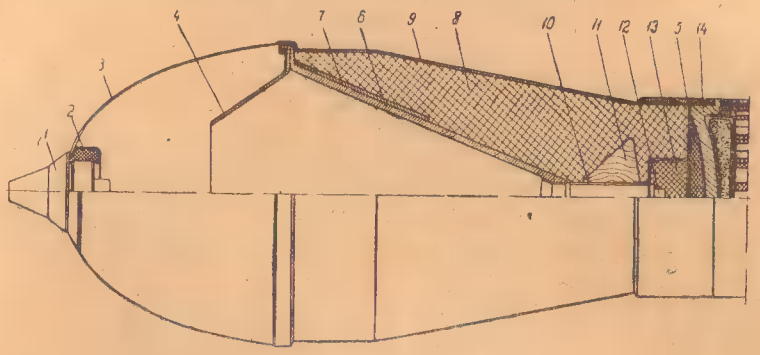


Рис. 154. Боевая часть кумулятивного снаряда.

можность получить боевую часть наиболее легкой, что будет обеспечивать получение наибольшей начальной скорости.

При проектировании боевой части кумулятивного снаряда наиболее важным является определение оптимальных параметров кумулятивного заряда. Этому вопросу посвящено довольно значительное количество теоретических и опытных работ, и в настоящее время уже можно дать достаточно близкие к истине зависимости, определяющие оптимальный кумулятивный заряд.

Условием, определяющим установление оптимальной формы заряда, является выбор формы кумулятивной выемки. Известно, что формы кумулятивных выемок могут изготовляться по одной из следующих фигур: полусфера, конус, параболоид, комбинированная форма. На форму кумулятивной выемки влияет большое число различных факторов: форма заряда, размер заряда, материал оболочки выемки, прочность преграды и т. д. Например, опытами, произведенными у нас в Союзе, установлено следующее:

1) во вращающихся боеприпасах полусферическая форма выемки по бронепробиваемости превосходит конусную, а для невращающихся и для стационарных условий конусная выемка превосходит полусферическую;

2) при пробивании стали оптимальной формой выемки является конус, при пробивании железобетона — полусфера.

Опыты по пробиванию брони [1] снарядами с различными (по величине угла) конусными и полусферическими выемками показали:

1. Для конусных выемок существует оптимальный угол конусности = 37°, причем для углов 23 и 46° бронепробиваемость слабо уменьшается от оптимальной.

2. Если принять за характеристику кумулятивного эффекта отношение глубины выбоины к массе ВВ, то заряд с 46° конусной выемкой почти в два раза превосходит заряд с 23° конусной выемкой.

3. Кумулятивный эффект достигает максимального значения, если отношение диаметра выемки (d) к диаметру заряда (D) равняется:

$$\frac{d}{D} \approx 1{,}0 \text{ для } 46° \text{ конусной выемки;}$$

$$\frac{d}{D} = 0{,}85 - 0{,}9 \text{ для } 26 - 30° \text{ конусной выемки;}$$

$$\frac{d}{D} = 0{,}8 - 0{,}85 \text{ для полусферической выемки.}$$

4. При увеличении высоты заряда кумулятивный эффект растет до некоторого предела, затем замедляется, а в некоторых случаях даже падает.

Нахождение оптимальной высоты заряда для различных форм выемки и различных ВВ — задача, окончательно еще не решенная. Ориентировочно для сплава Т Г 50/50 можно пользоваться следующими соотношениями:

$$D = 30 \qquad 60 \qquad 100$$

$$\frac{H_{\text{оп}}}{D} = 2{,}33 \qquad 2{,}00 \qquad 1{,}60,$$

где:

D — диаметр кумулятивного заряда,

$H_{\text{оп}}$ — оптимальная высота кумулятивного заряда.

Опыты показали также, что оптимальная высота заряда уменьшается при увеличении мощности ВВ.

5. Установлено, что внешняя форма кумулятивного заряда может быть выполнена в виде усеченного конуса. Оптимальные размеры этого усеченного конуса могут быть подобраны только опытным путем.

6. Введение линз (11) из инертного вещества, например из дерева, увеличивает кумулятивный эффект до 30%; по мнению некоторых авторов, введение линз, не изменяя кумулятивного эффекта, делает его более стабильным.

[1] М. Васильев, Оптимальные параметры кумулятивного заряда, НИИ-6, МСХМ, 1946 г.

7. Заряд, не имеющий оболочки в кумулятивной выемке, дает незначительную бронепробиваемость. При введении в выемку тонкой металлической оболочки кумулятивный эффект взрыва возрастает в несколько раз. Оптимальная толщина оболочки конусной выемки может быть определена по следующей формуле

$$\delta_{оп} = (0{,}046 - 0{,}000435\,\alpha^\circ)\,d,$$

где:

$\delta_{оп}$ — толщина оболочки кумулятивной выемки в миллиметрах,

α° — угол конусной выемки в градусах,

d — диаметр основания выемки.

Эта формула справедлива для сплава ТГ 50/50 и оболочки, сделанной из мягкой стали.

Для полусферической выемки принимают $\delta_{оп} = 0{,}02\,d$.

8. Материал оболочки конусной кумулятивной выемки весьма существенно влияет на бронепробиваемость кумулятивного заряда, которая может изменяться в несколько раз. Наибольшая бронепробиваемость получается при оболочке, выполненной из чугуна. Затем следуют медь, железо, алюминий, свинец, картон.

Термическая обработка стальной оболочки выемки ведет в большинстве случаев к снижению кумулятивного эффекта.

Для зарядов с полусферической выемкой целесообразность применения различных материалов для оболочки выемки находится в следующей последовательности: латунь, декапированное железо, цинк, чугун, алюминий и свинец.

9. Для каждого материала оболочки кумулятивной выемки существует оптимальное фокусное расстояние, зависящее также и от толщины оболочки.

Проф. Покровский рекомендует следующую формулу для подсчета оптимального расстояния:

$$F = R \cdot \operatorname{tg}(\alpha_к + \varphi),$$

где:

F — оптимальное фокусное расстояние от среза ВВ,

R — радиус концевой выемки у основания,

$\alpha_к$ — угол между образующей конуса и осью снаряда,

φ — поворот образующей конуса при деформации воронки; принимается равным 15°.

Обычно фокусное расстояние, подсчитанное по приведенной формуле, занижено, так как не учитывает материала и толщины оболочки.

Надежное определение этого оптимального расстояния возможно лишь опытным путем.

10. Кумулятивный эффект в очень большой степени зависит от величины и состава дополнительного детонатора. Имеются оптимальные размеры дополнительного детонатора, которые подбираются опытным путем.

11. Кумулятивный эффект прямо пропорционален произведению плотности на скорость детонации ВВ. Иными словами, кумулятивный эффект пропорционален мощности ВВ, а поэтому для снаряжения кумулятивных боеприпасов желательно применять наиболее мощные ВВ, например гексоген, тэн и другие. Но вследствие высокой чувствительности к механическим воздействиям и дороговизны этих ВВ, они применяются в сплаве с другими, более дешевыми и менее чувствительными ВВ (например, сплав тротил-гексоген).

12. Опытами установлено влияние на бронепробиваемость угла отклонения оси снаряда от нормали к преграде. Опыты пробивания брони показывают, что это отклонение начинает существенно влиять на кумулятивный эффект, при углах от нормали, превышающих 30°. При действии по железобетону отклонение оси снаряда от нормали под углом 30° снижает кумулятивный эффект примерно на 10%.

После того, как выбраны оптимальные параметры кумулятивного заряда, можно приступить к проектированию других деталей боевой части.

Корпус боевой части изготавливается обычно штамповкой из тонколистового железа. Толщину стенки выбирают примерно равной 0,8—1,5% от калибра и проверяют на прочность при выстреле. Толщина стенки должна также обеспечивать необходимую жесткость (отсутствие вмятин) в служебном обращении. Корпус боевой части является центрующей частью снаряда, а поэтому наружный его диаметр изготавливается по 4—5 классам точности, что может быть получено при холодной штамповке. Иногда для облегчения веса корпус боевой части может быть изготовлен из шпона, лигнофоля и других пластиков, обладающих высокой механической прочностью.

Баллистический колпак служит для придания снаряду обтекаемой формы и для крепления взрывателя на определенном расстоянии от кумулятивной выемки.

Длина баллистического колпака ($l_б$) должна быть подсчитана по формуле

$$l_б = F + v_с\,\tau_{дет},$$

где:

F — оптимальное фокусное расстояние от среза ВВ,

$v_с$ — скорость снаряда при встрече с преградой,

$\tau_{дет}$ — время срабатывания детонационной цепи.

Под временем срабатывания детонационной цепи подразумевается время от момента удара в преграду головной части снаряда до момента полной детонации разрывного заряда.

Проведенные опыты показали, что время срабатывания детонационной цепи в условиях стрельбы весьма нестабильно и может изменяться в 2—4 раза.

Определение среднего времени срабатывания детонационной цепи при обычной ее схеме (головной взрыватель — центральный канал — донный капсюль — дополнительный детонатор и разрывной заряд) может быть произведено по формуле

$$\tau_{дет} = t_{взр} + \frac{h_1 \cdot 10^3}{U_1} + \frac{h_2 \cdot 10^3}{U_D} + \frac{D \cdot 10^3}{5000} \text{ м-сек},$$

где:

$t_{взр}$ — время срабатывания головного взрывателя (в среднем $t_{взр} = 25 - 40$ м-сек);

h_1 — расстояние между головным и донным капсюлями детонатора;

U_1 — скорость передачи импульса от одного детонатора к другому (по данным опытов U_1 колеблется в пределах 1200 — 2000 м/сек);

h_2 — высота заряда от капсюля донного детонатора до основания кумулятивной выемки в миллиметрах;

U_D — скорость детонации для сплава ТГ 50/50; может быть взята равной 7800 м/сек;

D — диаметр заряда в миллиметрах.

Толщина баллистического колпака должна выбираться минимальной из условий его жесткости; в современных снарядах толщина баллистического колпака равна 0,5—1,5% калибра.

Головное сопло предназначено для лучшего формирования и устойчивости кумулятивного потока. Применение таких сопел в кумулятивных снарядах показывает увеличение бронепробиваемости. Обычно головное сопло выполняется штамповкой из листового железа толщиной 1—2,0 мм.

6. Боевая часть зенитных снарядов

Стрельба по самолетам может быть ударная, с использованием фугасного или ударного действия снаряда у цели и дистанционная, с использованием осколочного действия снаряда у цели.

В § 15 указывалось, что дистанционная стрельба будет более успешной в том случае, если в снаряде имеются готовые осколки.

Особенностью боевой части зенитных снарядов является обязательное наличие самоликвидатора, помещающегося либо в дистанционной трубке, либо в специальном устройстве. На рис. 155 изображена боевая часть зенитного снаряда, имеющая готовые осколки и состоящая из следующих основных деталей: дистанционная трубка (1), промежуточная втулка (2), корпус (3), осколочно-зажигательный элемент (4), ВВ (5), добавочный детонатор (6), переходное кольцо (7), дно (8), самоликвидатор (9), пороховой замедлитель (10).

Корпус боевой части можно изготавливать из двух штампованных половинок из тонкой листовой стали, сваренных продольным швом. В корпус вваривается промежуточная втулка (2) для ввертывания дистанционной трубки, и переходное кольцо (7) для соединения с дном (8).

Осколочно-зажигательные элементы (4) — стальные, наполненные зажигательным веществом. Их вес определяется назначением

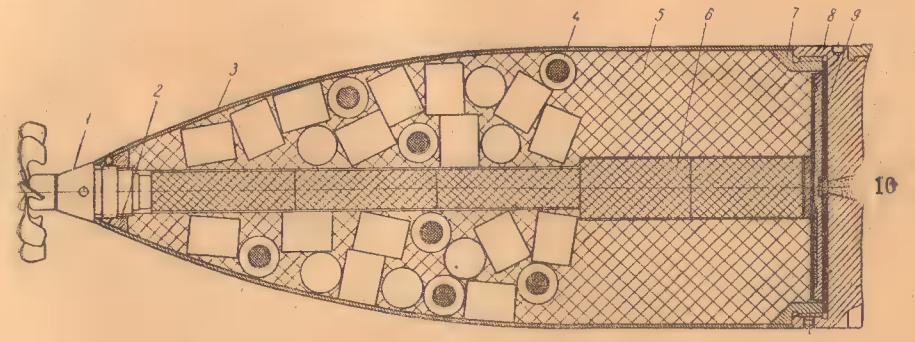


Рис. 155. Боевая часть зенитного снаряда с готовыми осколками.

снаряда, однако делать их вес менее 40—50 г нецелесообразно.

Самоликвидатор (9) выполнен в виде алюминиевого диска с уложенной в нем по незамкнутому кольцу нитью порохового состава, рассчитанного на время горения, равное времени, после которого снаряд минует цель.

Самоликвидатор помещается в дне (8) и будет получать импульс из реактивной каморы через пороховой замедлитель (10).

Обычно мощность дополнительного детонатора для таких снарядов выбирается более повышенной, чем мощность детонатора для осколочно-фугасных снарядов, хотя необходимость этого должна быть дополнительно проверена.

7. Боевая часть зажигательных снарядов

В ствольной артиллерии основным видом зажигательных снарядов является снаряд, несущий зажигательные элементы. В реактивной артиллерии, где снаряды могут иметь значительно больший коэффициент наполнения и более крупный калибр, в ряде случаев целесообразно применять зажигательные снаряды с жидким горючим (нефть, керосин и др.). При этом толщина стенки боевой ча-

сти зажигательного снаряда не лимитируется прочностью оболочки при выстреле; однако корпус должен быть достаточно прочным, чтобы успел подействовать разрывной заряд, разбрасывающий горючее; должна быть обеспечена достаточная прочность в служебном обращении. Практика показывает, что толщина стенки боевой части может приниматься равной 1/150—1/200 калибра.

На рис. 156 изображена конструкция боевой части зажигательного снаряда, имеющего калибр реактивной каморы меньший, чем калибр боевой части, что определяется заданной дальностью

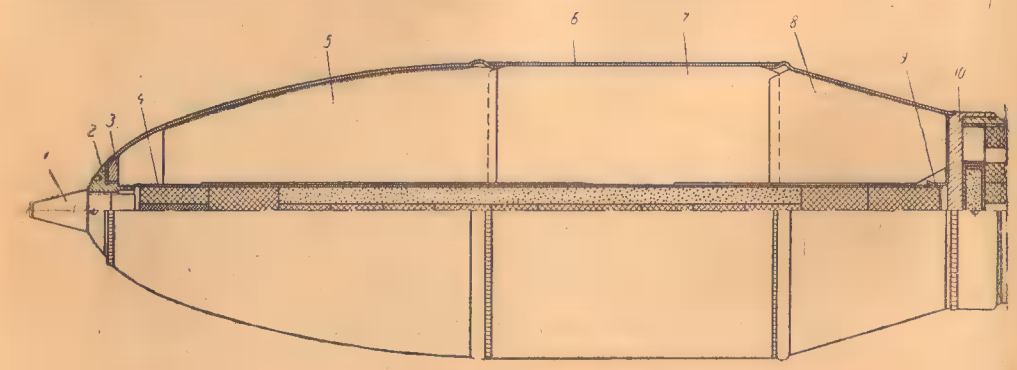


Рис. 156. Боевая часть зажигательного снаряда.

стрельбы. Боевая часть наполняется жидким горючим через резьбовое отверстие во втулке (3). Подгонка веса всего снаряда легко может быть осуществлена за счет увеличения или уменьшения веса горючего. Корпус боевой части (6) состоит из трех сваренных между собой деталей — цилиндрической трубы и двух конусообразных колпаков. Оба колпака могут быть получены либо холодной вытяжкой, либо методом выдавливания и имеют поперечные зиги, которые придают жесткость всему корпусу и являются центрующими утолщениями, а поэтому должны быть выполнены относительно точно (по 4—5 классам точности). Желательно, чтобы центр тяжести снаряда находился между этими центрующими утолщениями, тогда снаряд не будет опрокидываться. К оживальному колпаку приваривается втулка (3), в которую вворачивается втулка (2) с запальным стаканом (4). Задний конусный колпак приваривается ко дну (10). К корпусу боевой части привариваются радиальные перегородки (5, 7 и 8), для того чтобы увлекать жидкое горючее во вращение при вращении снаряда.

Запальный стакан (4) состоит из длинной трубы, один конец которой закреплен на втулке (2); другим концом труба центруется в кольце (9). В запальном стакане помещаются:

1. Добавочный детонатор, расположенный по всей длине запального стакана и служащий для вскрытия боевой части. Вес добавочного детонатора равен 3—4% веса горючего.

2. Зажигательный состав, состоящий из 50% порошкообразного магния и 50% угольного порошка. Вес зажигательного состава около 10% веса горючего. Запальный стакан закатывается на втулку (2), которая заворачивается на резьбе в боевую часть.

Во многих случаях, когда не предъявляются жесткие требования по соосности запального стакана и боевой части, возможно их безрезьбовое соединение, предложенное инженером Шавыриным и практически оправдавшим себя в конструкциях соединения корпусов некоторых авиабомб с запальными стаканами [1]. Для безрезьбового соединения применяется специальная масса примерно следующего состава: глиноземистый цемент — 3 части, портландский цемент — 6 частей, хлористый кальций — 3 части, вода пресная питьевая — 2 части.

Практикой установлено, что качество безрезьбового соединения будет хорошим в том случае, если длина соединяемых деталей будет не менее 0,4 диаметра, если соединяемые детали имеют грубую (лучше необработанную) поверхность. Зазор в безрезьбовом соединении может колебаться в пределах 0,4—8 мм. Через 15—20 минут после нанесения массы, она начинает затвердевать, полное затвердевание наступает через 40—60 минут.

Безрезьбовое соединение ликвидирует трудоемкую операцию — нарезку резьбы и тем самым дает большую экономию рабочей силы и инструмента.

8. Боевая часть химических снарядов

На рис. 157 изображена боевая часть химического турбореактивного снаряда. Как указывалось ранее, в химических снарядах для уменьшения потери ОВ в землю, желательно заднее расположение боевой части. Оперенные реактивные снаряды при заднем расположении боевой части хуже стабилизируются на полете; имеется опасность вредного действия на оперение пороховых газов, истекающих из впереди расположенных сопел. Поэтому предпочтительнее химические снаряды выполнять турбореактивными.

Оболочка боевой части, сваренная из листового железа, приваривается к переходнику (1) и дну (3). Для обеспечения надежного разрыва оболочки запальный стакан (4) вытянут на всю длину боевой части. К переднику (1) приварено дно (5) с пробкой (6) для заливки ОВ. В запальном стакане находится разрывной заряд (7),

[1] Опарихин Г. М., Безрезьбовое соединение корпусов авиабомб ФАБ-100, ОАБ-50 и мин с запальными стаканами. Производственно-технический бюллетень, № 6, 1944.

состоящий из нескольких шашек тротила и тетрила. В запальный стакан через переходную втулку (8) ввертывается донный взрыватель. Для центровки запального стакана ко дну (5) приварено конусное кольцо (9). Если мы будем снаряжать боевую часть жидким ОВ, то при движении на активном участке траектории свободный объем будет находиться впереди, а на пассивном участке свободный объем переместится ко дну боевой части. Для более плавного перемещения ОВ поставлена дырчатая диафрагма (10). Кроме

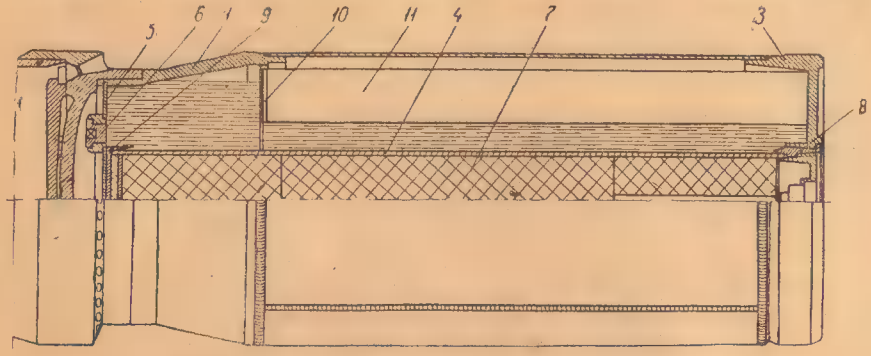


Рис. 157. Боевая часть химического снаряда.

того, имеются четыре продольные диафрагмы (11), которые увлекают жидкость во вращательное движение снаряда.

Боевая часть химического снаряда должна быть герметичной и прочной, поэтому сварка производится усиленным швом. Должны быть предусмотрены меры для предупреждения взаимодействия ОВ с металлической поверхностью боевой части.

Основным вопросом при проектировании боевой части химических снарядов является подбор заряда ВВ, приводящего ОВ в дисперсное состояние. Оптимальное соотношение между ОВ и ВВ подбирается опытным путем.

9. Снаряжение боевой части

Требования, предъявляемые к разрывному заряду реактивных снарядов в основном совпадают с аналогичными требованиями к разрывному заряду артиллерийских снарядов. Необходимо учитывать при снаряжении боевой части реактивных снарядов следующие особенности:

1. Малые величины ускорений при выстреле. В снарядах стволь-

ной артиллерии, благодаря большим силам инерции, предъявляются весьма жесткие требования к монолитности и прочности разрывного заряда, которые гарантировали бы его от деформации в момент выстрела. Величина получаемых при выстреле напряжений должна быть проверена по соответствующим формулам. В некоторых случаях, для мощных фугасных артиллерийских снарядов, рекомендуется постановка стальных перегородок, делящих снаряд по высоте. В реактивных снарядах такие перегородки не нужны, так как усилия при выстреле незначительны. Однако из сказанного не следует, что разрывной заряд реактивного снаряда может иметь значительные дефекты (раковины, пустоты), так как пороки разрывного заряда влекут к недостаточной прочности его при действии у цели, увеличивают разброс весовых допусков на снаряд.

2. Как уже указывалось ранее, относительный вес разрывного заряда $C_{\omega_{ВВ}} = \frac{\omega_{ВВ}}{D_{п}^{3}}$ для реактивных снарядов выше, чем для снарядов артиллерийских (в особенности для фугасных снарядов). Поэтому для реактивных снарядов надо выбирать наиболее производительные методы снаряжения (шнекование, кусковая заливка).

3. Так как во многих конструкциях реактивных снарядов снаряжение боевой части производится с донной части, необходимо предусмотреть все меры для устранения зазора между разрывным зарядом и промежуточным дном. Здесь следует применить те же мероприятия, что и при снаряжении артиллерийских снарядов с привинтным дном.

Для снаряжения реактивных снарядов применяются те же ВВ, что для артиллерийских: при снаряжении заливкой — тринитротолуол (тротил) и при снаряжении шнекованием — порошкообразные аммонийно-селитренные ВВ, чаще всего амматолы. Снаряжение кумулятивных реактивных снарядов производится более мощным ВВ, главным образом сплавами тротил-гексоген.

Поэтому технологический процесс снаряжения реактивных снарядов почти не отличается от технологического процесса снаряжения артиллерийских снарядов и состоит, например, для снаряжения методом заливки из следующих операций:

1) подготовительные операции (очистка и лакировка корпусов);

2) заливка;

3) изготовление гнезд под взрыватели, детонаторы, запальные стаканы;

4) окончательные операции (окраска, осалка и т. д.).

Все эти операции получили достаточное освещение в учебной[1] и периодической литературе и поэтому здесь не рассматриваются.

Приведем важнейшие технические требования на снаряжение боевых частей отечественных реактивных снарядов.

Наружная поверхность корпуса боевой части, поступающего с механического завода, должна быть окрашена или осалена, а внутренняя поверхность — покрыта лаком № 67. Не допускается

[1] П. И. Костюковский и А. И. Клюев, Снаряжение боеприпасов сухопутной артиллерии, ч. I и II.

ржавчина под слоем краски или лака. Лаковая пленка не должна иметь следующих дефектов: посторонних включений, побеления лака с поверхности, пузырчатости на лаковой пленке.

Перед снаряжением корпус боевой части подвергают 100% наружному осмотру:

а) на отсутствие ржавчины на наружной и внутренней поверхности;

б) на качество лакировки внутренней поверхности и окраски наружной поверхности;

в) на отсутствие забитостей резьб, вмятин и других дефектов;

г) на наличие стопорных отверстий и резьб под стопорные винты.

Перед снаряжением производят вторичную лакировку лаком № 67 внутренней поверхности корпуса боевой части. Снаряжение производят тротилом методом заливки или кусковой заливки. Детонаторы ставят из прессованных тротиловых или тетриловых шашек.

Качество разрывного заряда проверяется осмотром срезов ВВ и гнезд под шашки, разрезанных по оси болванок ВВ. На разрезанных по оси болванках ВВ в снарядах, снаряженных методом заливки, не допускаются инородные включения; допускаются:

1) мелкая разбросанная сыпь с диаметром пузырьков не более одного миллиметра;

2) рассредоточенные раковины глубиной и диаметром не более 3 мм, в количестве не более 5 шт.;

3) отдельно разбросанные раковины диаметром и глубиной до 5 мм, в количестве не более 2 шт.;

4) складки, корочки и следы от оплавника;

5) крупно-кристаллическое строение.

При кусковом методе заливки качество разрывного заряда должно удовлетворять перечисленным выше требованиям, причем допускается разноцветность кусков и залитого ВВ; спай кусков должен быть прочным; куски не должны иметь разрыхленных мест.

Примечание. Для разрывного заряда М-31-УК размер и количество раковин не устанавливается, но при этом средняя плотность разрывного заряда должна быть не ниже 1,50.

После снаряжения калибрами проверяются размер гнезда под взрыватель, очковая резьба.

Затем производится окончательная окраска и проверка снаряженной боевой части по весу. Для снарядов М-8 и М-13 допуск на вес равен 1,5%, для снарядов М-31 — 7,5%.

Снаряженные боевые части маркируются, комплектуются в партии, укупориваются, окончательно принимаются военпредом и отгружаются на базы МВС.

§ 37. РЕАКТИВНАЯ КАМОРА

Реактивная камора является важнейшей частью порохового двигателя и предназначается для сжигания топлива. Размеры и конструкция реактивной каморы тесно связаны с размерами и конструкцией сопрягающихся деталей, например с боевой частью, сопловой крышкой.

1. Служебные требования

К реактивной каморе предъявляются следующие основные служебные требования:

1. Прочное соединение реактивной каморы с боевой частью и сопловой крышкой. Конструктивное выполнение соединений реактивной и боевой частей освещено в § 36.

Соединение реактивной каморы с сопловой крышкой представляет большие возможности в конструктивном оформлении. В практике получили распространение разъемные (резьбовые, шпоночные) соединения и неразъемные (сварка, закатка). В ряде случаев сопловая крышка делается заодно с реактивной каморой.

Надежность соединения проверяется расчетом.

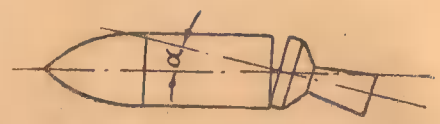


Рис. 158. Схема перекоса сопла и каморы.

2. Герметичность реактивной части, которая должна обеспечить:

а) отсутствие прорыва пороховых газов в боевую часть, через сопловую крышку и другие места сочленений (резьба штифтов); прорыв газов через резьбу сопловой крышки, штифта ведет к неправильному полету снаряда и резкому ухудшению кучности; в некоторых случаях для уменьшения возможности прорыва газов рекомендуется ставить обтюрирующие устройства;

б) сохранность при длительном хранении порохового заряда, воспламенителя и других гигроскопичных деталей снаряда.

3. Соосность реактивной части с боевой частью и сопловой крышкой. Для соблюдения соосности реактивной каморы с сопловой крышкой применяются те же способы, что и при соединении боевой и реактивной частей, а именно—устройство центрующей поверхности и удлинение резьбы. При соединении реактивной каморы с сопловой крышкой наиболее опасным является перекос осей, так как даже при незначительном угле перекоса α (рис. 158) эксцентриситет реактивной силы значительно возрастает, в особенности при длинных снарядах.

4. Достаточная механическая прочность при действии высоких давлений и больших температур. При выполнении этого требования необходимо помнить, что до сих пор, ввиду того, что еще не отработано достаточно надежное дробление каморы на осколки, реактивная камора является пассивным грузом, уменьшающим дальность полета реактивного снаряда. Поэтому реактивная камора не должна быть излишне прочной, а достаточная прочность ее должна определяться соответствующими расчетными формулами. Реактивные каморы часто подвергаются термообработке.

5. Удобство и надежность расположения, крепления и сборки порохового заряда, воспламенительного устройства, диафрагмы и других деталей.

6. Высокая технологичность конструкции, так как реактивная камора является одной из наиболее дорогостоящих деталей реактивного снаряда. При этом необходимо иметь в виду, что требуемые точность обработки и правильность геометрических форм реактивной каморы выше, чем для большинства других деталей реактивного снаряда.

7. Предохранение от порчи и коррозии при длительном хранении и при транспортировке.

8. Надежность крепления ведущих штифтов у оперенных реактивных снарядов.

9. Надежное крепление обтекателя и стабилизатора.

2. Материалы и формы заготовок

Материалом для изготовления реактивных камор является конструкционные (снарядные) углеродистые стали — С-50, С-55, С-60, а в ряде случаев — легированные стали (главным образом для боеприпасов противотанковой артиллерии, где применяются высокие давления и очень важно получить малый пассивный вес). В табл. 25 приведены наиболее употребительные для реактивных камор марки сталей и их важнейшие характеристики.

Для уменьшения веса снаряда желательно камору подвергать термообработке (закалке и высокому отпуску). Однако в этом случае камора, как тонкостенная деталь, получает значительное коробление в поперечном и продольном направлениях. Поэтому после термообработки камора должна подвергаться добавочной механической обработке, а твердость ее не может быть слишком высокой ($R_c = 32—36$, что сооответствует $H_B \approx 300—340$). Применению не закаленных, а только нормализованных камор способствует то обстоятельство, что иногда к каморе должны привариваться донья, а поэтому при сварке произойдет отпуск каморы. В каморе с длительно работающим пороховым двигателем нагрев будет достаточно большой, что приведет к ее самоотпуску. Термообработка также нежелательна из-за необходимости иметь терми-

Таблица 25

Марка стали	Химсостав C	Mn	Si	P (не более)	S (не более)	Механические характеристики кг/мм²: предел пропорциональности	предел текучести	временное сопротивление	термообработка
С-50	0,45—0,55	0,50—0,80	0,17—0,40	0,08	0,06	—	42—45	73—76	Без термообработки
С-55	0,50—0,60	0,50—0,80	0,17—0,40	0,08	0,06	47—62	49—64	85—94	Закалка и отпуск
С-60	0,55—0,65	0,50—0,80	0,17—0,40	0,08	0,06	36—38	37—39	69—71	Нормализация
35 ХГСА	0,30—0,39	0,80—1,10	1,30—1,60	1,10—1,40	0,05	—	80	100	Закалка и отпуск

ческие цехи и из-за увеличения технологического времени. Все перечисленные обстоятельства приводят к тому, что в ряде случаев (снаряд М-31, немецкий снаряд «Тайфун») камора не закаливается.

Заготовкой для камор служит обычно либо штамповка

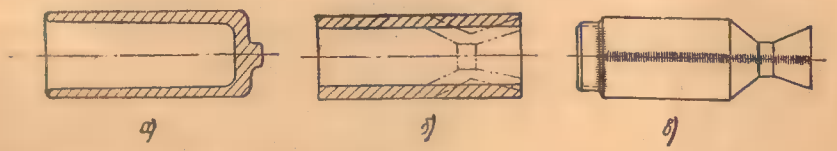


Рис. 159. Заготовки для каморы.

(рис. 159, *а*), либо труба (рис. 159, *б*), либо выштамповка из листового металла, свернутая в трубу (рис. 159, *в*).

Применение штамповки допустимо для снарядов малых калибров (до 80—100 мм).

Применение труб в качестве заготовки является экономически выгодным и конструктивно наиболее удобным; на рис. 159, *б* показана труба, обжатая на сопло, что можно рекомендовать для снарядов малых и средних калибров. Различные конструкции камор с заготовкой из трубы будут показаны в дальнейшем.

Можно утверждать, что наиболее экономичным является изготовление каморы из цельнотянутой, точно прокалиброванной трубы, без какой-либо добавочной механической обработки по внутреннему диаметру, а только с очисткой ее от ржавчины щеткой с кардолентой. Таким образом изготавливается камора снаряда

М-31, причем точность изготовления трубы по внутреннему диаметру 132 ± 0,5 мм может считаться приемлемой. Нет сомнения, что трубопрокатные заводы смогут поставлять трубы с более жесткими допусками. В качестве примера укажем на снаряды немецкой фирмы «Рейнметалл-Борзиг», которые изготавливались из калиброванных труб с допусками по внутреннему диаметру 100 мм ±0,2мм.

В конструкциях реактивных камор из листового материала (рис. 159, *з*) несколько труднее получить требуемую точность. Шов должен быть получен сваркой (в этом случае удобно применять автоматическую сварку по методу академика Патона), так что камора получает добавочное коробление. Конструкции таких камор применяются пока редко (стартовые каморы снаряда «Рейнтохтер»).

В некоторых случаях заготовка каморы может представлять сварную (встык) конструкцию, одна часть которой выполнена из трубы, а другая — штамповкой.

3. Конструктивные формы реактивных камор

На рис. 160—173 показаны различные конструкции реактивных камор в соединении их с боевой частью и сопловой крышкой.

На рис. 160 показана конструкция реактивной каморы, применяющаяся в некоторых немецких снарядах полевой артиллерии и в большинстве снарядов противотанковой реактивной артиллерии, особенностью которой является то, что боевая часть и сопловая крышка наворачиваются на реактивную камору. Причиной применения такой конструкции в противотанковой реактивной артиллерии является то, что в них калибр каморы значительно меньше калибра боевой части и выступающие заплечики над каморой не увеличивают калибра снаряда. Такая конструкция реактивной каморы технологически весьма простая, достаточно надежная и особенно целесообразная при длительном времени горения порохового заряда, так как в этом случае, при повышенных давлениях, зазоры в резьбовом соединении между каморой и сопрягающимися деталями (сопло, боевая часть) уменьшаются, чем предотвращается возможный прорыв пороховых газов. Недостатками конструкции являются увеличение габаритов снаряда (в том случае, если реактивная камора определяет его калибр) и, следовательно, ухудшение его баллистических свойств и затруднения при обработке сопел трубинки, так как при ее большей высоте доступ к соплам затрудняется.

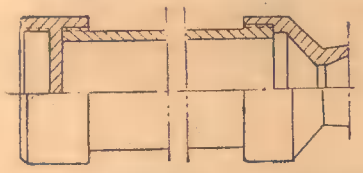


Рис. 160. Камора с навинтным соплом.

На рис. 161 показана конструкция реактивной каморы с глухим приваренным дном и ввернутой крышкой-соплом.

Для того, чтобы приварка была более надежной (прочность сварного шва должна быть проверена расчетом) возможна добавочная постановка электрозаклепок (1) по окружности каморы. Применяемая для каморы труба не должна быть термообработанной, так как при сварке она все равно будет отпущена. Конструкция крепления крышки-сопла при длительном горении порохового заряда не совсем удачна, так как при нагреве камора расширится и крышка-сопло может быть выбита. Другой недостаток подобной конструкции — укладка порохового заряда на снаряжательном заводе должна происходить после снятия крышки-сопла. В то же время желательно на механическом заводе сопло подобрать к каморе так, чтобы критическое сечение сопла имело возможно меньшее биение относительно каморы; затем крышка-сопло завертывается в

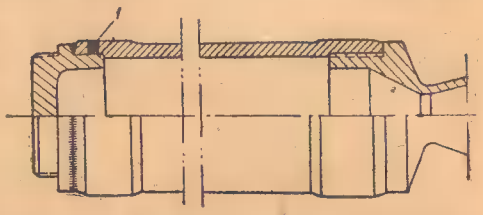


Рис. 161. Камора с вваренным днищем.

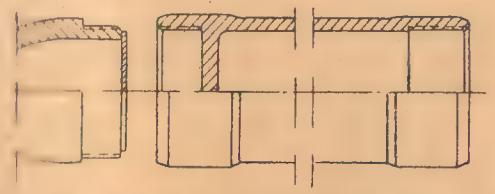


Рис. 162. Камора с глухим цельным дном.

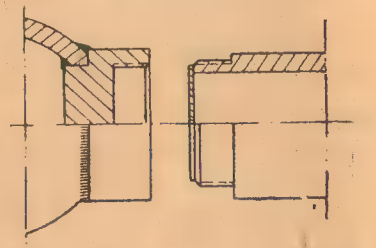


Рис. 163. Камора с тонким приварным дном.

камору на суриковой замазке (для герметичности) и в дальнейшем не отворачивается.

Впрочем, такого рода недостатком обладает большое число конструкций реактивных камор.

На рис. 162 показана конструкция реактивной каморы, применяющаяся в снарядах М-8 (один из вариантов) и в немецком 210-мм осколочно-фугасном снаряде. Реактивная камора сделана с глухим дном, ко дну боевой части для герметичности ее приварена или завальцована тонкая пластина, толщиной 2—4 мм. Подобного рода конструкция достаточно хорошо обеспечивает ряд служебных требований — герметичность, прочность соединения, соосность. Основными недостатками являются трудность механической обработки каморы снарядов, имеющих большую длину и получение штамповки заго-

товок камор больших калибров, что требует очень мощного прессового оборудования. Следует заметить, что в том случае, когда внутренние отверстия цилиндров приходится обрабатывать, лучше их иметь открытыми с обеих сторон, чем с глухим дном. Поэтому конструкция реактивной каморы, изображенная на рис. 163, обладая теми же достоинствами, что и камора, изображенная на рис. 162, имеет значительные преимущества в отношении технологичности. Тонкое дно приваривается к каморе, а толстое дно боевой части может служить для подгонки ее по весу. Особенность тонкого дна каморы в том, что оно не сможет выдержать давления

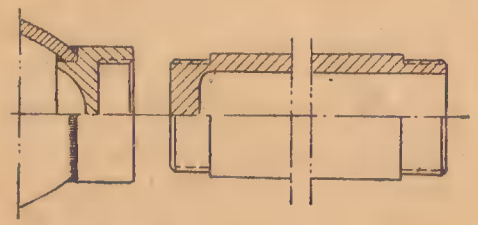


Рис. 164. Камора с глухим дном.

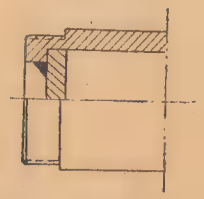


Рис. 165. Камора с отбортованным и вваренным днищем

в каморе и будет прогибаться, упираясь в дно боевой части; поэтому резьба, соединяющая боевую и реактивную части, должна быть рассчитана на прочность, за исключением конструкции, при которой резьба будет выполнена за одно целое с каморой (рис. 164), немецкие 280- и 320-мм снаряды. Однако в этом случае наличие доньев у боевой и реактивной частей излишне утяжеляет снаряд, и такая схема обладает указанным выше недостатком — трудностью изготовления реактивной каморы. Можно упростить технологию изготовления каморы, если построить ее по схеме рис. 165. Здесь изображена схема каморы, изготовленная из трубы, один конец которой отбортовывается ,затем в нее вставляется прочное дно, которое для герметичности заваривается.

Конструкция каморы, обладающей еще более высокой технологичностью, изображена на рис. 166. Реактивная камора изготавливается из цельнотянутой трубы, конец которой отбортовывается, обрабатывается, и затем в нее вставляется штампованное дно, которое приваривается к трубе. После сварки выходящая часть дна обрабатывается и нарезается. Крепление боевой и реактивной частей будет достаточно надежным.

Турбинка, в отличие от прочих конструкций, крепится без резьбы. Турбинка вставляется в камору и одной стороной своего бурта упирается в уступ каморы, а другой стороной бурта упирается в сегменты, вставленные в кольцевую выточку на каморе и предохра-

няемые от выпадения винтами, ввернутыми в турбинку. Такое крепление турбинки технологически простое, однако недостаточно надежное. Наличие зазоров в размере a может привести к разбалтыванию всей системы крепления турбинки. Для предупреждения прорыва пороховых газов перед турбинкой ставится обтюратор (1) из асбеста, доломина или других огнеупорных материалов.

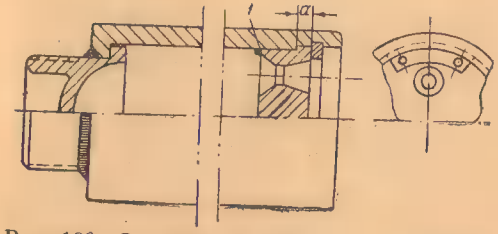


Рис. 166. Опытная камора фирмы „Рейнметалл Борзиг".

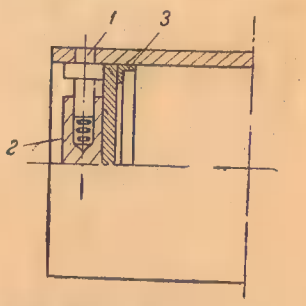


Рис. 167. Схема крепления дна каморы на пружинных штифтах.

В американских опытных снарядах применялись конструкции, в которых донья устанавливались без резьбы. Схема подобного рода изображена на рис. 167. Штифты (1), прижимаемые пружинами, од-

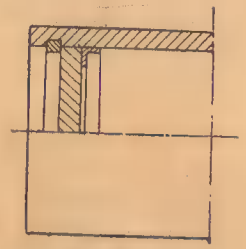


Рис. 168. Схема крепления дна пружинным кольцом.

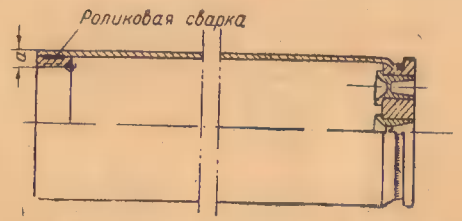


Рис. 169. Реактивная камора снаряда „Тайфун".

ним своим концом входят в отверстие каморы, а другим концом — в кольцо (2), на которое опирается дно реактивного снаряда. Дно может быть свободно вынуто, если утопить штифты (1) в кольцо (2). Для герметизации от прорыва пороховых газов служит обтюратор (3). Вариант подобного рода крепления применялся в опытных конструкциях немецких снарядов. В каморе трубы (рис. 168) делалась выточка, в которую вставлялось разрезное пружинное кольцо. Из-за ненадежного крепления дна конструкции по рис. 167 и 168 в штатных снарядах применения не получили.

На рис. 169 изображена конструкция реактивной каморы немецкого снаряда «Тайфун». Камора изготавливается из цельнотянутой

стальной трубы, в один из концов которой роликовой сваркой вваривается кольцо, на котором затем нарезается резьба для соединения каморы с боевой частью; другой конец трубы завальцовывается на турбинку и для большей прочности заваривается. Основным достоинством подобной схемы является простота конструкции. Но эта конструкция имеет и свои недостатки: роликовую сварку каморы с кольцом можно производить только при толщине свариваемых деталей (размер a) не более 4—5 мм; наличие кольца

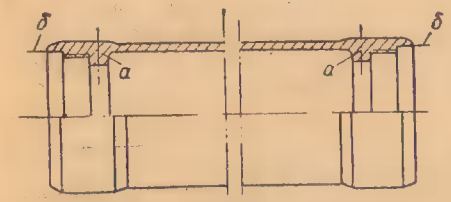


Рис. 170. Реактивная камора снаряда М-13.

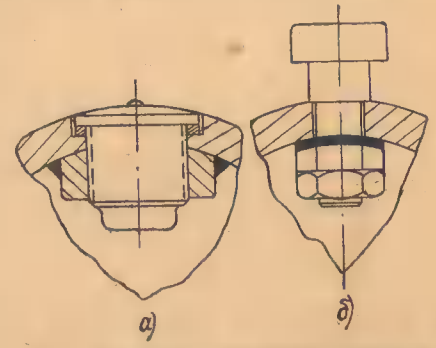


Рис. 171. Схема крепления в каморе пиросвечи и штифта.

может затруднить сборку порохового заряда и ограничить размеры одношашечного порохового заряда. Камора при подобной схеме термически не обрабатывается. При закатке и последующей заварке прочность соединения реактивной каморы с турбинкой будет вполне достаточной, хотя методов расчета подобного соединения на прочность не существует.

На рис. 170 изображена конструкция реактивной каморы снаряда М-13. Внутренняя часть каморы имеет относительно сложную конфигурацию, поэтому внутренняя расточка является одной из наиболее технологически трудоемких операций. Внутренние буртики a необходимы для ввертывания направляющих штифтов и пиросвечей. Для улучшения центрования боевой части и крышки-сопла в реактивной каморе предусматриваются направляющие поверхности $б$. Вследствие наличия буртиков a большое количество металла уходит в стружку при обточке и расточке каморы. Кроме того, даже при наличии максимально жестких оправок и сравнительно небольших подач при расточке получается конусность и разностенность внутренней поверхности каморы.

Можно предусмотреть иные варианты крепления пиросвечи и штифтов в каморе без буртиков, в частности конструкции, изображенные на рис. 171$а$, $б$.

На рис. 171,$а$ показана гайка, приваренная изнутри к каморе, на рис. 171,$б$ — направляющий штифт, крепится гайкой и контргайкой. Оба эти варианта конструктивно и технологически недостаточно совершенны.

Среди опытных работ немецкой фирмы «Рейнметалл-Борзиг» имеются чертежи реактивной каморы, соединенной с боевой частью шариками (рис. 172). В корпусе боевой части и реактивной каморы протачиваются круговые канавки, в которые насыпаются шарики. Можно предположить, что подобная конструкция соединения была

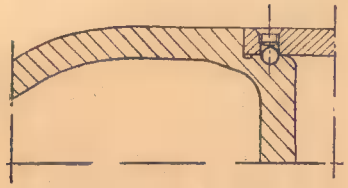


Рис. 172. Соединение боевой и реактивной частей помощью шариков.

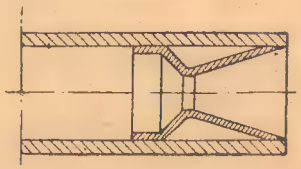


Рис. 173. Схема посадки сопла в каморе.

опробована для соединения реактивной каморы с боевой кумулятивной частью, которая в этом случае вращаться не будет.

Укажем на конструкцию соединения реактивной каморы с соплом, применяемую в некоторых конструкциях английских реактивных снарядов (рис. 173). Сопло изготавливается в виде отдельной детали и затем приваривается к реактивной каморе. По сравнению с соплом, изготовленным заодно с каморой, такая конструкция имеет недостаток — утяжеление снаряда, и достоинства — более удобное и точное изготовление сопла, легкая установка диафрагмы, опирающейся на сопло.

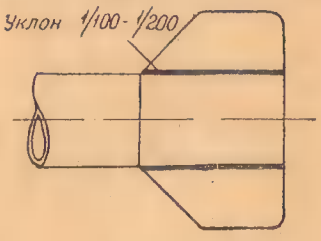


Рис. 174. Посадка стабилизатора на каморе.

Иногда на реактивной каморе (например у снаряда „Тайфун“) крепится стабилизатор. В этом случае обтекатель делается из тонкого листового материала толщиной до 0,8 мм, насаживается на камору и приваривается к ней.

Для более плотной посадки стабилизатора камору можно проточить на небольшой конус (рис. 174) и с таким же конусом изготовить обтекатель.

Для предохранения от коррозии камора изнутри подвергается двойной лакировке (в отечественном производстве применяется лак № 177), снаружи грунтуется специальной пастой, а затем окрашивается. В том случае, когда время горения порохового заряда превышает 0,8—1 сек., разумно производить теплоизоляцию реактивной каморы изнутри, которая, как показывает опыт, уменьшает нагревание каморы в 2—3 раза. Для термоизоляции может служить

состав, применяемый для покрытия поверхности каморы снаряда «Тайфун» (см. § 16), состоящий из смеси жидкого калиевого стекла, измельченного каолина и окиси магния.

Для центрования шашек в реактивной каморе на ее стенки (или же на пороховой заряд) наклеиваются войлочные или картонные прокладки. Эти прокладки одновременно предохраняют пороховой заряд от сотрясения при транспортировке и от охлаждения в момент прикосновения к стенкам каморы. Другим методом центрования шашек в реактивной каморе является изготовление диафрагм со специальными центрующими уступами, конструкция которых будет показана ниже.

4. Точность, технология изготовления, испытания

При изготовлении реактивной каморы необходимо следить не только за точностью выполнения размеров в пределах заданных допусков, но также за правильностью геометрических форм каморы (конусность, овальность, бочкообразность и др.). В большинстве случаев, если не имеется каких-либо добавочных соображений, точность обработки реактивной каморы может быть назначена в следующих примерных пределах:

1. Наружные диаметры (за исключением центрующих утолщений) обрабатываются по 5—7 классам точности;
2. Внутренние диаметры (за исключением направляющих диаметров) обрабатываются по 5—7 классам точности.

Исследуем, как будет влиять разброс размеров внутреннего диаметра реактивной каморы на разброс давлений в каморе.

Величина давления[1] из условия равенства прихода и расхода определяется формулой

$$p = \left(\frac{\delta S u_1 \sqrt{f_0}}{\varphi_2 a \sigma_к}\right)^{\frac{1}{1-\nu}} = \left(\frac{\delta \cdot S \cdot u_{10} f(\varkappa) \sqrt{f_0}}{\varphi_2 a \sigma_к}\right)^{\frac{1}{1-\nu}}. \qquad (1)$$

Если в правой части уравнения 1 считать переменной величину параметра заряжания $\varkappa$ (так как она зависит от размера внутреннего диаметра каморы) и постоянными — все остальные величины, то, логарифмируя и затем дифференцируя равенство 1, получаем

$$\frac{\Delta p}{p} = 3{,}33 \frac{\Delta f(\varkappa)}{f(\varkappa)}. \qquad (2)$$

Если принять установленную для многошашечных зарядов опытную зависимость

[1] Я. М. Шапиро, Теория пороховых реактивных снарядов, стр. 56. Изд. Артакадемии.

$$f(\varkappa) = 1 + 1{,}25 \cdot 10^{-5} \varkappa^2,$$

то

$$\Delta f(\varkappa) = 2{,}5 \cdot 10^{-5} \varkappa \Delta \varkappa,$$

далее, так как

$$\varkappa = \frac{S - S_т}{F_к - S_т},$$

то

$$\Delta \varkappa = -\frac{S - S_т}{(F_к - S_т)^2} \cdot \Delta F_к = -\frac{S - S_т}{(F_к - S_т)^2} \cdot \pi \cdot D_к \frac{\delta}{2},$$

где δ — допуск на внутренний диаметр реактивной каморы.

Итак,

$$\Delta f(\varkappa) = 2{,}5 \cdot 10^{-5} \varkappa \frac{S - S_т}{(F_к - S_т)^2} \cdot \pi \cdot D_к \frac{\delta}{2} \approx 3{,}92 \cdot 10^{-5} \varkappa^3 \frac{D_к \cdot \delta}{S - S_т}. \qquad (3)$$

Подставляя значение $\Delta f(\varkappa)$ из 3 уравнения во 2, получим

$$\frac{\Delta p}{p} = 3{,}33 \cdot 3{,}92 \cdot 10^{-5} \varkappa^3 \frac{D_к \delta}{(S - S_т) f(\varkappa)} =$$

$$= 1{,}3 \cdot 10^{-4} \varkappa^3 \frac{D_к \delta}{(S - S_т) f(\varkappa)}. \qquad (4)$$

Разброс давлений в каморе М-8, внутренний диаметр которой изготовлен по 7 классу точности, будет (при значениях $\varkappa = 110$; $D_к = 72$ мм; $\delta = 0{,}74$ мм; $S - S_т = 148000$ мм²)

$$\frac{\Delta p}{p} = 0{,}056 = 5{,}6\%.$$

Как видно из этого примера, разброс давлений получается значительным, причем он резко возрастает при увеличении $\varkappa$ и уменьшении поверхности заряда.

При назначении допусков на внутренний диаметр каморы надо следить за тем, чтобы разброс давлений, из-за неточности изготовления каморы, не превышал 5—10%.

3. Центрующие утолщения и направляющие диаметры обрабатываются по специальному допуску, лежащему примерно между 3 и 4 классами точности.

4. Резьба изготавливается по 2 или 3 классам точности.

При назначении линейных допусков по указанным выше классам точности весовой допуск на камору будет получаться в пре-

делах ± 3—5%. Ввиду того, что такой допуск не может отвечать тактико-техническим требованиям, весовой допуск на камору назначается сравнительно редко — в тех случаях, когда стенка реактивной каморы относительно велика и равна 0,04—0,05 калибра. Подгонка веса каморы производится за счет дна, либо за счет детали крышка-сопло (например, в снаряде М-31).

Главнейшими технологическими переходами при обработке каморы являются:

1) заготовка — отрезанная труба (или штамповка);
2) черновая обдирка поверху и изнутри для уничтожения черновин, волосовин, закатов и других пороков металла;
3) термообработка (закалка и высокий отпуск);
4) предварительная обточка на многорезцовом станке по наружному диаметру;
5) окончательная расточка каморы изнутри;
6) окончательная обточка каморы по наружным диаметрам;
7) фасонная расточка под резьбу и направляющие диаметры с обоих концов;
8) резьбофрезерование;
9) гидравлические испытания и дефектоскопия — операции, контролирующие прочность реактивной каморы, а потому и проводящиеся в обязательном присутствии представителя военной приемки;
10) сверление и нарезка отверстий под пиросвечи, штифты;
11) сверление тангенциальных отверстий для проворачивающихся снарядов.

Подробный перечень технологических операций при изготовлении реактивной каморы снаряда М-13 дан в приложении 8.

При проектировании технологического процесса изготовления реактивной каморы следует прежде всего иметь в виду, что это — тонкостенная деталь, чрезвычайно легко деформируемая в поперечном сечении. Это влияет на выбор установочных и зажимных баз и назначение режимов при резании. Например, при многорезцовой обработке каморы, при назначении числа одновременно работающих резцов, совершенно обязательно произвести расчет допустимых подач по жесткости системы: станок — инструмент — изделие. Основные зависимости для этого будут рассмотрены ниже.

К чистоте поверхности реактивных камор особенно жесткие требования не предъявляются. Обычно центрующие утолщения и направляющие диаметры обрабатываются по 5—6 классам чистоты (▽▽5, ▽▽6), остальные размеры могут быть обработаны по 3—4 классам (▽3, ▽▽4).

Рассмотрим теперь наиболее типичные случаи брака при изготовлении реактивной каморы.

При обработке реактивной каморы наиболее частыми случаями брака являются:

1. Разностенность каморы, превышающая допустимую величину. Причиной этого вида брака является смещение каморы на заднем упоре, при проточке наружного диаметра на многорезцовом станке.

2. Искажение поперечных сечений каморы (овалы, многогранность). Причина этого вида брака заключается в короблении детали во время термообработки. На механической обработке исправление коробления произвести трудно. Объясняется это тем, что камора — деталь тонкостенная и легко деформируемая. Камора, покоробленная после термообработки, при посадке на разжимную оправку (рис. 175, *а*) принимает правильную (круглую) форму и затем, после окончания механической обработки, снимается с разжимной оправки и опять принимает искаженную форму. Для ликвидации этого вида брака следует вместо разжимной оправки применить вращающиеся центры (рис. 175, *б*). Благодаря этому уменьшается жесткость крепления детали на оправке и геометрическая форма каморы получается более правильной.

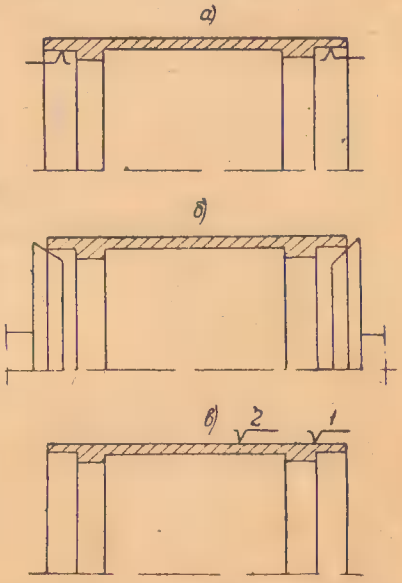


Рис. 175. Схема крепления каморы при обработке.

Аналогичный вид брака имелся и при обработке внутреннего диаметра каморы под резьбу и центрующие диаметры. Камора, зажатая в цангу, приобретала правильную форму, а затем, после снятия со станка, опять искривлялась. Этот вид брака можно устранить переносом мест зажима из точки (1) в точку (2) (рис. 175, *в*) на расстояние 100—200 мм от торца каморы. Таким образом, эти места при зажатом изделии имеют неправильную форму и исправляются при механической обработке. Если же базы для крепления будут выбраны неправильно, то, помимо искажения геометрических форм каморы, будут уменьшены диаметр под резьбу и направляющие диаметры.

3. При сверлении 12 тангенциальных отверстий возможны провал диаметров тангенциальных отверстий и поломка сверл. Количество брака на этой, технологически трудной, операции особенно возрастает при плохой заточке и плохом качестве сверл. Во избежание брака рекомендуется применять следующие меры:

а) высокие скорости вращения сверла ($n \approx 1500$ об/мин.),

б) смазка сверла парафином,

в) применение принудительного охлаждения,

г) применение специальных сверл (типа американских, но со шлифованной канавкой для выхода стружки и с более крутыми углами спирали).

4. Брак по металлу (трещины, закаты, неметаллические включения) обнаруживаемые на дефектоскопе, либо при гидравлических испытаниях.

5. При нарезании резьбы под штифты и пиросвечи на сверлильном станке часты случаи перекоса резьбы, несоблюдения заданных допусков, получения рваной резьбы при входе и выходе метчика. Для устранения этих недостатков следует обязательно вести нарезку плавающим метчиком.

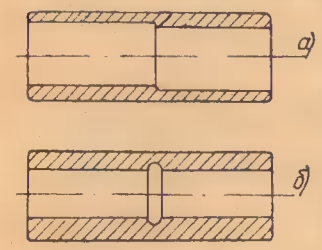


Рис. 176. Возможные случаи брака каморы.

6. При расточке внутреннего диаметра реактивной каморы иногда из-за недостатка станков, позволяющих производить расточку с одного прохода, проводят расточку с двух концов каморы. При таком методе расточки очень часты случаи получения уступов (рис. 176, *а*) и зарезов (рис. 176, *б*); последние получаются в том случае, когда резец, отжимаясь под действием значительных усилий, выходит на обработанную поверхность и благодаря упругим деформациям врезается в стенку каморы.

Ввиду чрезвычайной важности гидравлических испытаний и магнитной дефектоскопии, даем краткое описание выполнения этих операций.

1. Гидравлические испытания.

Гидравлическому испытанию подвергаются все 100% изготовленных камор и деталей крышки-сопло. Перед началом гидравлических испытаний необходимо проверить:

а) правильность показаний рабочего манометра путем его сверки с контрольным;

б) наличие пломб у контрольного и рабочего манометров;

в) наличие паспортов контрольного и рабочего манометров с указанием сроков их проверки.

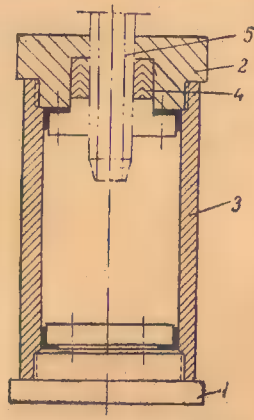


Рис. 177. Приспособление для гидроиспытаний каморы.

Перед испытанием реактивная камора устанавливается в приспособлении (рис. 177). После вворачивания в камору ввертыша (1) и пробки (2) все приспособление с каморой устанавливается на гидравлическом прессе (рис. 178). Реактивная камора наполняется водой, после поднятия штока (1) стержень (2) входит в реактивную камору и начинает выдавливать из нее воду; шток (2) плотно облегается кожаным манжетом. Давление в реактивной каморе повышается до 300 кг/см² и затем выдерживается в течение 30 сек.

Перед испытанием производится замер наружного диаметра каморы микрометром в трех сечениях — в центре и на расстоянии 100 мм от торцов в двух диаметрально противоположных направлениях. Результаты замера с точностью до одной сотой миллиметра клеймятся или наносятся масляной краской на каморе. Боковая поверхность каморы протирается насухо. Нарастание давления должно происходить плавно без динамического удара. При прохождении испытания не допускается попадание воды на боковую поверхность каморы. Во время испытания под давлением производится тщательный осмотр всей наружной поверхности каморы для обнаруживания просачивания воды.

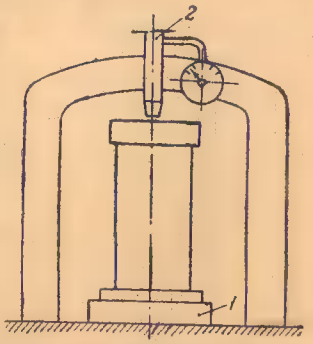


Рис. 178. Гидропресс для испытаний каморы.

После испытания на прессе производится повторный замер в тех же местах для определения остаточной деформации, величина которой не допускается более 0,05—0,08% калибра. Чтобы убедиться

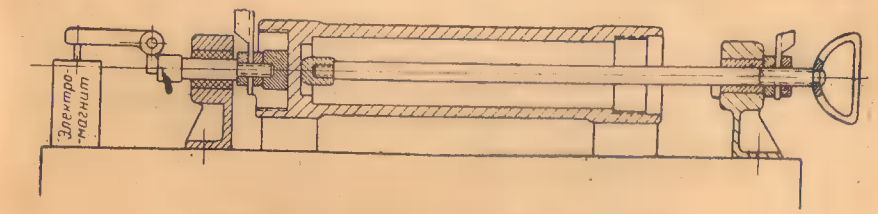


Рис. 179. Схема намагничивания изделия.

в прочности и отсутствии деформаций, после испытания резьбы подвергается внешнему осмотру и проверяется проходным и непроходным резьбовыми калибрами.

Для предохранения от коррозии вода для испытания должна иметь антикоррозийные добавки (мыло, жидкое стекло, фосфат натрия).

2. Испытание реактивной каморы на магнитном дефектоскопе.

Магнитный дефектоскоп служит для массового контроля изделий из магнитных материалов. Магнитная дефектоскопия основана

на методе предварительного намагничивания изделия импульсами переменного тока. По продольному стержню (рис. 179) сквозь изделие пропускается переменный электрический ток большой силы и низкого напряжения. При размыкании тока в цепи возникает мощный импульс тока одного направления, который и создает остаточное намагничивание изделия.

Если изделие имеет правильную цилиндрическую форму, то весь, созданный таким образом магнитный поток будет замыкаться в толще изделия, не создавая внешних полюсов (так называемый, циркулярный метод намагничивания). Там, где в изделии имеются трещины, раковины или другие дефекты, уменьшающие

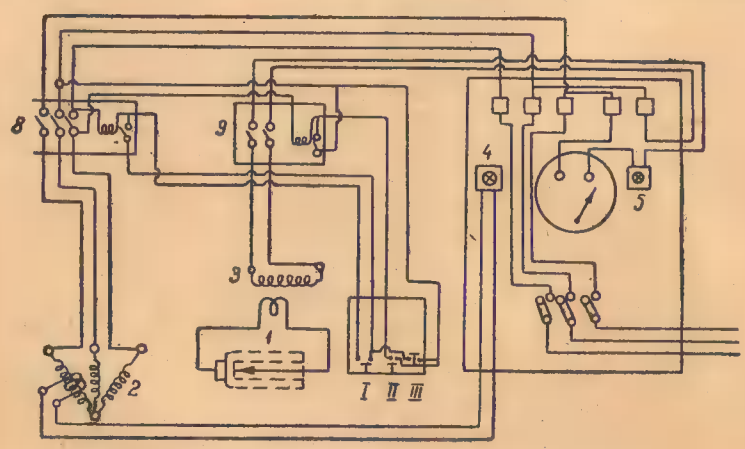


Рис. 180. Принципиальная схема дефектоскопа.

его сечение, часть магнитного потока пройдет по воздуху у поврежденного места, образуя ярко выраженные полюсы.

Намагниченное изделие поливается магнитной суспензией и на местах пороков возникают скопления металлической составляющей суспензии, довольно четко обозначая контур трещины или раковины. Для контроля намагничивания изделия вся электрическая схема установки (рис. 180) автоматизирована и снабжена контрольными приспособлениями, сигнализирующими о неисправностях установки.

Источник питания—трехфазная сеть переменного тока 220—380 в. Сила тока зависит от величины детали и для деталей реактивного снаряда сила тока = 1500—3000 *а* при напряжении 2—4 *в*.

Непосредственно для намагничивания служит понижающий однофазный трансформатор (3), вторичная обмотка которого имеет 8—10 витков гибкого кабеля сечением 100—120 мм², концы которого присоединены к контактам стержня, проходящего через изделие. Если испытуемое изделие имеет глухое дно, важно, чтобы намагничивающий стержень плотно прижимался ко дну изделия.

Для этого установка имеет мощный трехфазный электромагнит (2).

Для управления установкой служат два магнитных пускателя (8 и 9). Работа дефектоскопа осуществляется поочередным нажатием трех пусковых кнопок (I, II, III). При нажатии первой кнопки включается электромагнитный прижим, второй — намагничивающая цель, а третей — обе цепи отключаются. Правильность работы установки контролируется двумя сигнальными лампами (4 и 5). Лампа (4) сигнализирует об исправности работы зажимного электромагнита. Вторая лампа (5) включена в цепь первичной обмотки намагничивающего трансформатора (3). При исправной работе всех частей установки поочередно загораются — сначала одна, затем обе лампы.

Термообработанные детали могут быть сняты с прибора для намагничивания и помещены в отдельное устройство для поливки их магнитной суспензией. Незакаленные детали, из-за малого остаточного магнетизма, должны поливаться суспензией при прохождении через них тока (при наложенном магнитном поле).

Контролю на дефектоскопе подлежат все 100% камор. Перед испытанием каморы очищаются от грязи и масла, протираются в керосине.

Магнитная суспензия представляет собой водно-мыльный (или керосиновый) раствор, в который введен крокус (железный сурик).

Крокус изготовляется из окиси железа (Fe_2O_3), которая измельчается до состояния пудры и затем восстанавливается до Fe_3O смесью $CO + CO_2$, находящейся в светильном газе и являющейся восстановительной смесью. Восстановление производится при температуре 230—550° в течение часа. Для приготовления суспензии в водный раствор с концентрацией мыла 0,2—0,3% вводится 10—15 г крокуса на 1 литр. Для уменьшения коррозии в водный раствор вводятся щелочные вещества: либо жидкое стекло — 2,5—3 г/литр, либо фосфат натрия (Na_3PO_4) — 75 мг/литр, либо гидрат окиси натрия (NaOH) — 5 мг/литр. Эти вещества способствуют образованию пассивной защитной пленки на изделиях. Для предохранения этой пленки от разрушения вводят добавочно экстракт дубовой коры в количестве 25 мг/литр.

При проведении дефектоскопии обязательно наличие контрольной дефектной детали, которая служит для проверки магнитной суспензии на чувствительность и концентрацию. В контрольной дефектной детали расположение дефекта известно (например, в деталь посадить на плотную посадку цилиндрическую шпильку).

Магнитным дефектоскопом можно также определить примерную глубину трещины в детали.

5. Расчет на прочность трубы с донья́ми, подверженной внутреннему давлению

Для увеличения скорости реактивного снаряда необходимо уменьшать вес снаряда и, в том числе, вес реактивной каморы. Поэтому необходимо уметь правильно рассчитывать толщину стенки реактивной каморы.

Реактивная камора — это цилиндрическая труба с донья́ми. Хотя в одном из донье́в имеется отверстие для истечения газа,

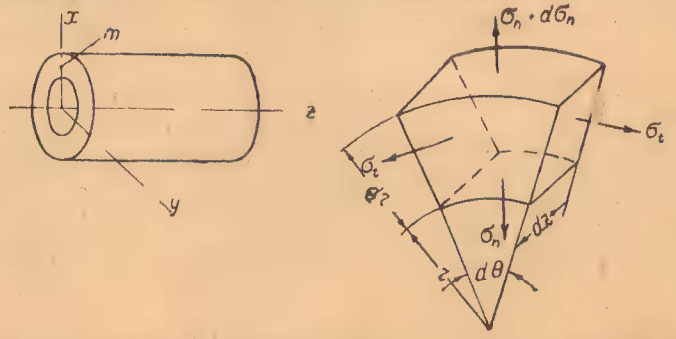


Рис. 181. Схема действия напряжений на элементе трубы.

можно с достаточной точностью принять при расчете, что сила, действующая вдоль оси каморы, равняется произведению площади дна на давление в каморе.

Итак, будем рассматривать прочность трубы с донья́ми, нагруженной внутренним давлением пороховых газов.

Возьмем точку m (рис. 181) внутри стенок трубы, в каком-либо поперечном сечении трубы и проведем две взаимно перпендикулярные меридиальные плоскости, из которых одна проходит через точку m.

Расположение осей координат примем так, как это изображено на рис. 181, причем ось OZ — геометрическая ось трубы.

Выделим около точки m бесконечно малый элемент, ограниченный: двумя плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии dZ и перпендикулярными оси трубы; двумя цилиндрическими поверхностями радиуса r и $r+dr$ и двумя меридиальными плоскостями, расположенными друг к другу под углом $d\Theta$.

Нормальные напряжения, действующие на соответствующие грани выделенного элемента, обозначим:

1. Радиальные напряжения σ_n и $\sigma_n + d\sigma_n$, действующие на площадки $rd\Theta dz$ и $(r+dr)\cdot d\Theta \cdot dz$.

2. Тангенциальные напряжения σ_t, равные на противоположных гранях в силу закона симметрии и действующие на площадках $dr \cdot dz$.

3. Осевые напряжения σ_Z и $\sigma_Z + d\sigma_Z$, параллельные оси трубы и действующие на площадках $rd\Theta \cdot dr$.

Проектируя величины внутренних сил на оси X и Z, будем иметь

$$\sum X = -\sigma_n r d\Theta \cdot dz + (\sigma_n + d\sigma_n)(r+dr)\,d\Theta \cdot dz + 2\sigma_t dr dz \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{d\Theta}{2}\right) = 0 \qquad (5)$$

$$\sum Z = (\sigma_Z + d\sigma_Z)\, r d\Theta dr - \sigma_Z r d\Theta \cdot dr = 0. \qquad (6)$$

В уравнении 5, заменив $\sin\frac{d\Theta}{2}$ на $\frac{d\Theta}{2}$ и пренебрегая членом $dr d\sigma_n \cdot d\Theta \cdot dz$, как членом второго порядка малости, будем иметь:

$$\sigma_n + r\frac{d\sigma_n}{dr} - \sigma_t = 0, \qquad (5а)$$

Из уравнения 6 следует $d\sigma_Z r d\Theta \cdot dr = 0$, что равносильно $d\sigma_Z = 0$ или $\sigma_Z = \text{const}$ по всей длине трубы.

Составим выражения для соответствующих относительных деформаций в точке m:

радиальная деформация

$$\varepsilon_n = \frac{1}{E}[\sigma_n - \mu(\sigma_t + \sigma_Z)],$$

тангенциальная деформация

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E}[\sigma_t - \mu(\sigma_n + \sigma_Z)],$$

осевая деформация

$$\varepsilon_Z = \frac{1}{E}[\sigma_Z - \mu(\sigma_n + \sigma_t)],$$

} I

где:

μ — коэффициент Пуансона,

E — модуль упругости материала трубы.

Дадим геометрическое толкование этим деформациям.

Если при деформированном состоянии трубы (рис. 182) радиус r превратится в величину $r + \delta r$, то радиус $r + dr$ превратится в величину $r + dr + \delta r + d\delta r$.

Величина относительного удлинения, очевидно, будет

$$\varepsilon_n = \frac{d\delta r}{dr}.$$

Величина относительного удлинения в тангенциальном направлении находится из условия постоянства угла $d\Theta$

$$\varepsilon_t = \frac{\delta r d\Theta}{r d\Theta} = \frac{\delta r}{r}. \qquad (7)$$

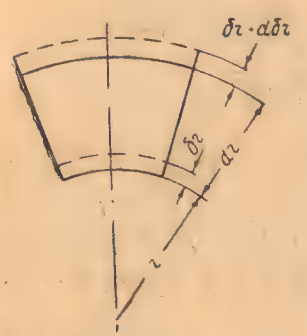


Рис. 182. Схема деформации элемента трубы.

Подобным образом деформация

$$\varepsilon_z = \frac{d\delta z}{dz}.$$

Дифференцируя уравнение 7 по r,

$$\frac{d\varepsilon_t}{dr} = \frac{d\left(\frac{\delta r}{r}\right)}{dr} = \frac{1}{r}\frac{d\delta r}{dr} - \frac{\delta r}{r^2} =$$

$$= \frac{1}{r}\left(\frac{d\delta r}{dr} - \frac{\delta r}{r}\right) = \frac{1}{r}(\varepsilon_n - \varepsilon_t)$$

или

$$\varepsilon_n - \varepsilon_t = r\frac{d\varepsilon_t}{dr}. \qquad (8)$$

Но имеем также из уравнений I

$$\frac{d\varepsilon_t}{dr} = \frac{1}{E}\left(\frac{d\sigma_t}{dr} - \mu\frac{d\sigma_n}{dr}\right),$$

так как

$$\frac{d\sigma_z}{dr} = 0.$$

Из уравнения 5а можно получить

$$\frac{d\sigma_t}{dr} = \frac{d\sigma_n}{dr} + \frac{d\left(r\frac{d\sigma_n}{dr}\right)}{dr},$$

откуда будем иметь

$$\frac{d\varepsilon_t}{dr} = \frac{1}{E}\left[(1-\mu)\frac{d\sigma_n}{dr} + \frac{d\left(r\frac{d\sigma_n}{dr}\right)}{dr}\right]. \qquad (9)$$

Из равенств (I), вычитая из первого второе, имеем

$$\varepsilon_n - \varepsilon_t = \frac{1}{E}[(\mu+1)\sigma_n - (\mu+1)\sigma_t] = \frac{1}{E}(\mu+1)(\sigma_n - \sigma_t). \qquad (10)$$

Подставляя полученные выражения 9 и 10 в уравнение (8), получим

$$\frac{1}{E}(\mu+1)(\sigma_n - \sigma_t) = \frac{1}{E}r\left[(1-\mu)\frac{d\sigma_n}{dr} + \frac{d\left(r\frac{d\sigma_n}{dr}\right)}{dr}\right].$$

Но так как

$$\sigma_n - \sigma_t = -r\frac{d\sigma_n}{dr},$$

то

$$-(\mu+1)r\frac{d\sigma_n}{dr} = r\left[(1-\mu)\frac{d\sigma_n}{dr} + \frac{d\left(r\frac{d\sigma_n}{dr}\right)}{dr}\right].$$

Сократив полученное уравнение на r и сделав приведение подобных членов, будем иметь:

$$2\frac{d\sigma_n}{dr} + \frac{d\left(r\frac{d\sigma_n}{dr}\right)}{dr} = \frac{d}{dr}\left(2\sigma_n + r\frac{d\sigma_n}{dr}\right) = 0. \qquad (11)$$

Интегрируя уравнение 11, получим

$$2\sigma_n + r\cdot\frac{d\sigma_n}{dr} = 2C_1,$$

где $2C_1$ — постоянная интегрирования.

Вторичное интегрирование полученного уравнения производим, умножив его предварительно на rdr

$$2\sigma_n r dr + r^2\cdot d\sigma_n = 2C_1 r dr$$

или

$$d(r^2\sigma_n) = C_1(dr^2)$$

и окончательно

$$\sigma_n = C_1 - \frac{C_2}{r^2}. \qquad (12)$$

Таким образом, величина нормального напряжения определена, как функция радиуса.

Далее находим $\frac{d\sigma_n}{dr} = \frac{2C_2}{r^2}$.

Из уравнения 5а следует

$$\sigma_t = C_1 - \frac{C_2}{r^2} + 2r\frac{C_2}{r^3} = C_1 + \frac{C_2}{r^2}. \qquad (13)$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определяем из граничных условий на внутренней и наружной поверхностях трубы.

Положим, что радиус внутренней поверхности трубы r_1, наружной поверхности r_2, давление на внутренней поверхности равно p, на наружной 0.

Тогда для соблюдения условий равновесия необходимо

$\sigma_{n_1} = -p$ (на внутренней поверхности),

$\sigma_{n_2} = 0$ (на наружной поверхности).

Итак, подставляя значения p и r в уравнение (12), получим

$$-p = C_1 - \frac{C_2}{r_1^2},$$

$$0 = C_1 - \frac{C_2}{r_2^2},$$

откуда

$$C_2 = \frac{r_2^2 r_1^2 \cdot p}{r_2^2 - r_1^2}, \qquad (14)$$

$$C_1 = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \qquad (15)$$

При этом величины C_1 и C_2 — положительные.

Подставив значения σ_n и σ_t в уравнения I, получим величины деформаций, выраженные через C_1 и C_2

$$\left.\begin{aligned}
\varepsilon_n &= \frac{1}{E}\left[(\mu-1)C_1 - (\mu+1)\frac{C_2}{r^2} - \mu\sigma_Z\right] \\
\varepsilon_t &= \frac{1}{E}\left[(\mu-1)C_1 + (\mu+1)\frac{C_2}{r^2} - \mu\sigma_Z\right] \\
\varepsilon_Z &= \frac{1}{E}(\sigma_Z - 2\mu C_1)
\end{aligned}\right\}. \qquad \text{II}$$

Исследуя выражения радиальных и тангенциальных деформаций и напряжений, видим, что как те, так и другие зависят от расстояния от оси трубы (переменного радиуса r).

Полученные для деформации формулы можно выразить, приняв определенным значением коэффициент Пуассона.

Так, полагая $\mu = \frac{1}{3}$, имеем:

$$\varepsilon_n = \frac{1}{E}\left(\frac{2}{3}C_1 - \frac{4}{3}\frac{C_2}{r^2} - \frac{1}{3}\sigma_Z\right),$$

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E}\left(\frac{2}{3}C_1 + \frac{4}{3}\frac{C_2}{r^2} - \frac{1}{3}\sigma_Z\right),$$

$$\varepsilon_Z = \frac{1}{E}\left(\sigma_Z - \frac{2}{3}C_1\right).$$

Так как на трубу с закрытыми донышами действует внутреннее давление, то, очевидно, осевые напряжения будут равны

$$\sigma_Z = \frac{p\pi r_1^2}{\pi(r_2^2 - r_1^2)} = C_1.$$

Формулы деформации в этом случае представятся:

$$\left.\begin{aligned}
\varepsilon_n &= \frac{1}{E}\left(\frac{1}{3}C_1 - \frac{4}{3}\frac{C_2}{r^2}\right) \\
\varepsilon_t &= \frac{1}{E}\left(\frac{1}{3}C_1 + \frac{4}{3}\frac{C_2}{r^2}\right) \\
\varepsilon_Z &= \frac{1}{3E}C_1.
\end{aligned}\right\}. \qquad \text{III}$$

Из уравнений 12, 13, III следует, что

$$\left.\begin{aligned}
\sigma_n + \sigma_t &= 2C_1 = \text{const}, \\
\varepsilon_n + \varepsilon_t &= \frac{1}{E}\frac{2}{3}C_1 = \text{const}, \\
(\sigma_t - \sigma_n)r^2 &= 2C_2 = \text{const}, \\
(\varepsilon_t - \varepsilon_n)r^2 &= \frac{1}{E}\frac{8}{3}C_2 = \text{const}
\end{aligned}\right\}. \qquad \text{IV}$$

Формулы IV могут служить поверочными при расчете напряжений в трубах.

Исследуя напряжения и деформации, приходим к выводу, что они могут иметь различные значения и являются функцией расстояния рассматриваемой точки от ее оси.

Формулы для выражения радиальных и тангенциальных напряжений

$$\sigma_n = C_1 - \frac{C_2}{r^2}$$

и

$$\sigma_t = C_1 + \frac{C_2}{r^2}$$

показывают, что в исследуемом нами случае величина тангенциальных напряжений будет всегда положительной и достигнет максимальных величин при минимальном r, т. е. на внутренней стенке трубы.

Величина нормальных напряжений меньше нуля, так как

$$\sigma_n = C_1 - \frac{C_2}{r^2} = \frac{p_1 r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}\left(1 - \frac{r_2^2}{r^2}\right)$$

и опять-таки будет максимальной при минимальном r, т. е. на внутренней стороне трубы. По абсолютной величине тангенциальные напряжения больше нормальных. Те же выводы относятся и к деформациям; а именно, тангенциальные деформации всегда больше радиальных и максимальные деформации имеются на внутренней стенке трубы. Таким образом, исходя из второй теории прочности, согласно которой величина получающихся деформаций не должна превосходить величин деформаций, соответствующих пределу пропорциональности металла, получим

$$E\varepsilon_t = \frac{1}{3}C_1 + \frac{4}{3}\frac{C_2}{r^2} = \frac{1}{3}\frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{4}{3}\frac{pr_1^2 r_2^2}{(r_2^2 - r_1^2)\, r^2} \leqslant \sigma_p,$$

где σ_p — предел пропорциональности металла.

Максимальные напряжения будут при $r = r_1$.

Итак, получим

$$p = 3\sigma_p \cdot \frac{r_2^2 - r_1^2}{4r_2^2 + r_1^2} \qquad (16)$$

или же

$$r_2 = r_1 \sqrt{\frac{3\sigma_p + p}{3\sigma_p - 4p}} \qquad (17)$$

6. Расчет трубы, скрепленной проволокой

В § 19 было дано описание снарядов «Драгмантель», реактивная камора которых скреплена проволокой круглого сечения. Скрепляющая проволока изготавливается из легированной стали и упрочняется благодаря поверхностной нагортовке, при этом допускаемое напряжение в скрепляющей проволоке примерно в 4—5 раз больше, чем допускаемое напряжение в стенках каморы. Можно показать, что скрепление каморы проволокой позволит уменьшить ее вес примерно на одну треть, так что подобная конструкция реактивных камор в ряде случаев представляет безусловный интерес.

В курсах сопротивления материалов известно решение задачи о напряжениях и деформациях в цилиндрической трубе, скрепленной проволокой квадратного сечения. При скреплении проволокой круглого сечения задача сильно усложняется, так как в этом случае, помимо обычных напряжений, получающихся при скреплении, появляются еще местные контактные напряжения от сжатия тел, имеющих различную кривизну. Из-за трудности учета совокупного действия этих двух видов различных напряжений, разберем более простую задачу, а именно, скрепление каморы проволокой прямоугольного сечения.

Из элементарных соображений следует, что в цилиндрической трубе с донья ми осевые напряжения вдвое меньше тангенциальных. Так как проволочная обмотка в осевом направлении не работает, то минимальная толщина стенки каморы, при ее скреплении проволокой, должна равняться половине толщины стенки каморы, не скрепленной проволокой.

Следует отметить, что необходимость в предварительном натяжении проволоки, скрепляющей артиллерийский ствол и реактивную камору, диктуется совершенно различными причинами. При скреплении артиллерийского ствола ставится цель перераспределения напряжений в стенке ствола, при скреплении реактивной каморы такая задача не ставится, так как нетрудно показать, что напряжения на внутренней и наружной сторонах стенок мало отличаются между собой.

Ранее имели

$$\sigma_t = C_1 + \frac{C_2}{r^2}.$$

Учитывая значения C_1 и C_2, получим:

$$\sigma_{t_{вн}} = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{pr_1^2 \cdot r_2^2}{(r_2^2 - r_1^2)\cdot r_1^2} = \frac{p(r_1^2 + r_2^2)}{r_2^2 - r_1^2}, \qquad (а)$$

$$\sigma_{t_{нар}} = \frac{pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{pr_1^2 r_2^2}{(r_2^2 - r_1^2) r_2^2} = \frac{2pr_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \qquad (б)$$

Разделив (а) на (б), получим

$$\frac{\sigma_{t_{вн}}}{\sigma_{t_{нар}}} = \frac{r_1^2 + r_2^2}{2r_1^2} = \frac{r_1^2 + r_1^2 + 2\delta r_1 + \delta^2}{2r_1^2} \approx 1 + \frac{\delta}{r_1}.$$

Итак, величина внутренних напряжений больше величины наружных примерно на $5 - 6\%$, так как $\frac{\delta}{r_1} = 0{,}05 \div 0{,}06$.

Необходимость в предварительном натяжении при скреплении проволокой диктуется тем, что только в этом случае при определенной величине натяжения разрушение каморы и проволоки наступит одновременно.

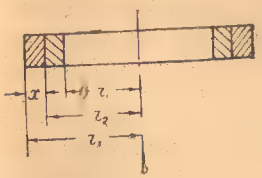


Рис. 183. Элемент каморы скрепленный проволокой.

Итак, взяв элементы трубы и скрепляющей проволоки (рис. 183) и рассматривая их как два скрепленных цилиндра, можно, используя соответствующие формулы[1] курса сопротивления материалов, написать:

для нескрепленной трубы

$$p = \frac{3}{2}\sigma_{e_1}\frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2},$$

принимая

$$r_2 = r_1 + \delta$$

и пренебрегая величинами δ^2, получим

$$p = \frac{3}{2}\sigma_{e_1}\frac{(r_1+\delta)^2 - r_1^2}{2(r_1+\delta)^2 + r_1^2} \approx \frac{2\delta}{3r_1 + 4\delta}\cdot\frac{3}{2}\sigma_{e_1}. \qquad (18)$$

Для скрепленной трубы будем иметь

$$p = \frac{3}{2}\sigma_{e_1}\frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2} + \frac{3}{2}\sigma_{e_2}\frac{3r_2^2\cdot(r_3^2 - r_2^2)}{(2r_2^2 + r_1^2)(2r_3^2 + r_2^2)}.$$

Причем в этой формуле:

r_1 — внутренний радиус каморы,

$r_2 = r_1 + \frac{\delta}{2}$ — наружный радиус каморы,

$r_3 = r_2 + x$ — наружный радиус по скрепляющей проволоке, так как

x — толщина проволоки.

[1] Н. Ф. Дроздов, Сопротивление артиллерийских орудий и их устройство, 1932 г.

Делая эти подстановки и пренебрегая величинами δ^2 и x^2, получим

$$p = \frac{\delta}{3r_1 + 2\delta}\cdot\frac{3}{2}\sigma_{e_1} + \frac{3}{2}\sigma_{e_2}\frac{3r_2 2x}{(3r_2 - 2\delta)(3r_2 + 4x)}. \qquad (19)$$

Приравнивая значения p в формулах 18 и 19, получим:

$$\frac{3}{2}\sigma_{e_1}\frac{2\delta}{3r_1 + 4\delta} = \frac{3}{2}\sigma_{e_1}\frac{\delta}{3r_1 + 2\delta} + \frac{3}{2}\frac{3r_2}{(3r_2 - 2\delta)}\cdot\frac{2x}{(3r_2 + 4x)}\cdot\sigma_{e_2}.$$

Ошибка не превзойдет $3 - 4\%$, если в правой части знаменатель у первого и второго члена увеличить на 2δ и сделать $3r_1 + 4\delta$ (вместо $3r_1 + 2\delta$), а у второго члена $3r_2$ (вместо $3r_2 - 2\delta$).

Тогда будем иметь

$$\frac{3}{2}\sigma_{e_1}\frac{2\delta}{3r_1 + 4\delta} = \frac{3}{2}\cdot\sigma_{e_1}\frac{\delta}{3r_1 + 4\delta} + \frac{3}{2}\sigma_{e_2}\frac{2x}{3r_2 + 4x}.$$

Сокращая и приводя подобные члены, получим

$$\sigma_{e_1}\cdot\frac{\delta}{3r_1 + 4\delta} = \sigma_{e_2}\frac{2x}{3r_2 + 4x}.$$

И так как

$$3r_1 + 4\delta = 3r_2 + 2\delta \approx 3r_2 + 4x,$$

то, следовательно,

$$x = \frac{\delta}{2}\cdot\frac{\sigma_{e_1}}{\sigma_{e_2}}. \qquad (20)$$

Иными словами, толщина скрепляющей проволоки уменьшается пропорционально увеличению допускаемого напряжения. Аналогичный результат можно было получить, рассматривая работу каморы на разрыв в поперечном направлении.

Размер диаметра круглой проволоки может быть найден из условия равенства сечений прямоугольной и круглой проволоки на всей длине каморы.

Итак,

$$lx = n\frac{\pi d^2}{4} = \frac{l}{d}\cdot\frac{\pi d^2}{4},$$

где d — диаметр проволоки.

Окончательно

$$d = 1{,}27\cdot x.$$

Величина предварительного натяжения $\sigma_н$ может быть определена, учитывая следующие соображения.

Пусть площадь поперечного сечения каморы на единице длины каморы (рис. 183) равняется F_1, площадь скрепляющей проволоки — F_2. Если мы скрепляющей проволоке дадим напряжение растяжения $\sigma_н$, то в сечении каморы будет напряжение сжатия $-\frac{\sigma_н F_1}{F_2}$.

Под действием увеличивающегося внутреннего давления это напряжение сжатия будет уменьшаться, затем превратится в нуль и, наконец, стенки каморы будут испытывать напряжение растяжения $\sigma_к$.

Необходимо отметить при этом, что величина относительного удлинения, а стало быть и величина вызываемых действием давления напряжений будет одинаковой как для каморы, так и для скрепляющей проволоки.

Итак, суммируя напряжения от предварительного натяжения и от действия давления, будем иметь напряжение в каморе

$$\sigma_к = -\frac{\sigma_н F_1}{F_2} + \varepsilon E, \tag{21}$$

напряжение в проволоке

$$\sigma_{пр} = \sigma_н + \varepsilon E. \tag{22}$$

Из уравнений 21 и 22 следует

$$\sigma_н = \frac{\sigma_{пр} - \sigma_к}{1 + \frac{F_1}{F_2}} = \frac{\sigma_{пр} - \sigma_к}{1 + \frac{\sigma_к}{\sigma_{пр}}},$$

так как из уравнения 20 видно, что $\frac{F_1}{F_2} = \frac{\sigma_к}{\sigma_{пр}}$.

7. Расчет реактивной каморы на прочность

По сравнению с различными машиностроительными деталями расчет реактивной каморы имеет ряд особенностей, наличие которых, с одной стороны, облегчает, а с другой — затрудняет расчет каморы. Особенностями, облегчающими расчет реактивной каморы, являются:

1. Камора под нагрузкой работает только при выстреле. Поэтому нет необходимости вести расчет каморы по более сложным характеристикам усталостной прочности, а достаточно произвести расчет только на динамическую прочность.

2. Нахождение сил, нагружающих камору, относительно просто. Камора подвержена действию сил внутреннего давления. Действием остальных сил, например сил инерции, можно пренебречь.

3. Камора обладает относительно простой конфигурацией, в которой почти отсутствуют резкие переходы от одного сечения к другому, а следовательно, и в меньшей степени надо учитывать местные напряжения. Практически коэффициенты концентрации напряжений следует учитывать в месте перехода от гладкой стенки каморы к ее нарезной части.

4. Ввиду того, что расчет на усталостную прочность не производится, а также потому, что в реактивных снарядах принимаются надежные меры для защиты от коррозии, учет местных напряжений, зависящих от наличия коррозии и чистоты обработки поверхности, можно не производить. Это благоприятное обстоятельство еще усиливается тем, что камора изготовлена из пластического материала и концентрация напряжений не представляет опасности, так как вследствие пластических деформаций, протекающих в перенапряженных зонах, происходит сглаживание пик напряжений, и статическая прочность не только не снижается, но даже повышается в связи с упрочнением материала в местах с начальными пиками напряжений. Это положение подтверждается непосредственными опытами — ростом величин σ_S и σ_B при увеличении глубины выточки и скорости растяжения.

Обстоятельством, затрудняющим расчет реактивной каморы, является то, что работа реактивной каморы происходит в условиях высоких температур, при неустановившемся процессе. Во время горения порохового заряда реактивная камора нагревается, причем из-за быстротечности происходящих процессов успевают нагреться только внутренние слои каморы. Для точного расчета реактивной каморы необходимо иметь температуру различных слоев стенки каморы в различные периоды времени горения порохового заряда. Зная кривые температурной зависимости для различных времен (а следовательно, и определяя прочность реактивной каморы в различное время), которая с течением времени будет падать, и сравнивая эти кривые с кривой давления, можно было бы определить момент, наиболее опасный для прочности каморы. Поскольку точное определение температуры по толщине стенки каморы для различных отрезков времени представляет определенное затруднение, то мы ограничимся лишь определением температуры в середине стенки каморы. Кроме того, нами не будет учитываться передача тепла от газов к каморе лучеиспусканием и охлаждением снаряда путем передачи тепла во внешнюю среду. Учет этого второго фактора чрезвычайно сложен, так как при движении снаряда при больших скоростях он не только отдает тепло, но и благодаря трению о воздух разогревается.

Таким образом, если принять вышеприведенные допущения, то будем иметь[1]:

[1] Д. Н. Щеверов, Расчет систем питания для реактивных снарядов с нагруженными баками, Диссертация 1948 г., Изд. Артакадемии.

$$T_{ср} = (T_к - T_0)(1 - e^{-mt}), \qquad (23)$$

где:

$T_{ср}$ — температура в °K в середине стенки каморы,

$T_к$ — температура газов в каморе в °K,

T_0 — начальная температура стенки каморы в °K (температура окружающей среды),

t — промежуток времени с начала горения порохового заряда в секундах.

Коэффициент m определяется формулой

$$m = \frac{\alpha_1}{C\gamma\delta 3600\,\text{сек}},$$

где:

δ — толщина стенки каморы в метрах,

γ — удельный вес металла в кг/м³,

C — теплоемкость металла $= 0{,}1 - 0{,}12$ $\frac{\text{кг. кал}}{\text{кг. °C}}$ (для стали),

α_1 — коэффициент теплопередачи от газов к стенке коморы, измеряемый в $\frac{\text{кг. кал}}{\text{м}^2\ \text{час °C}}$.

Для газов, движущихся по трубе круглого сечения, коэффициент α_1 может быть определен по следующей формуле Гребера

$$\alpha_1 = 23{,}7 \cdot L^{-0{,}05} \cdot d^{-0{,}16} \lambda^{0{,}21} \left(\frac{V \cdot p \cdot c_p}{R \cdot T_1}\right)^{0{,}79},$$

где:

L — длина каморы в метрах,

d — диаметр каморы в метрах,

λ — коэффициент теплопроводности пороховых газов к стенке каморы, зависящий от состава пороховых газов, измеряемый в $\frac{\text{кг. кал}}{\text{м}^2\ \text{час}}$,

V — скорость движения потока газов в м/сек,

p — давление газа в кг/м²,

c_p — теплоемкость пороховых газов в $\frac{\text{кг. кал}}{\text{кг. °C}}$,

R — газовая постоянная,

$$T_1 = \frac{T_к + T_0}{2}.$$

Величина

$$\lambda = \sum B_i \lambda_i,$$

где:

B_i — весовая часть отдельных составляющих пороховых газов,

λ_i — теплоемкости соответствующих составляющих.

Для пороховых газов состава (по весу на 1 кг): $CO_2 = 0{,}161$; $H_2 = 0{,}015$; $CO = 0{,}54$; $H_2O = 0{,}144$; $N_2 = 0{,}140$, коэффициент теплопроводности после подсчета по соответствующим формулам для отдельных составляющих

$$\lambda = \sum B_i \lambda_i = 0{,}11\ \frac{\text{кг. кал}}{\text{м}^2\ \text{час}}.$$

Теплоемкость этих же газов при постоянном давлении и температуре ≈ 2000°К $- c_p = 0{,}43$ $\frac{\text{кг. кал}}{\text{кг. °C}}$.

Газовая постоянная $R = 36{,}5$.

Скорость движения газов V м/сек зависит от величины горящей поверхности пороха и свободного прохода газов в каморе. В теории пороховых реактивных снарядов доказывается, что при обычно применяемых давлениях скорость движения газа численно очень незначительно отличается от величины параметра заряжания $\varkappa$.

Как показывают некоторые примерные подсчеты, реактивные каморы можно рассчитывать для времени горения до 1 сек по максимальному давлению и нормальной величине предела пропорциональности материала каморы; при времени горения от 1 до 3 сек по максимальному давлению и пределу пропорциональности, взятому на нижней границе или даже пониженному на несколько процентов; при времени горения свыше 3 сек необходимо построение кривой давления и графика температуры стенки в различные моменты времени. В этом случае необходимо произвести расчет для различных моментов времени по соответствующим давлениям и соответствующему пределу пропорциональности, зависящему от температуры стенки.

Так как реактивная камора используется один раз, величина остаточных деформаций в ней ничем не ограничивается, поэтому нет необходимости следить за тем, чтобы остаточные деформации не превосходили допустимых.

Ранее нами была получена формула (17) для расчета толщины стенок цилиндра с донья́ми, подверженными внутреннему давлению. Эта формула после преобразований имеет вид

$$D_н = D_к \sqrt{\frac{3\sigma_p + p}{3\sigma_p - 4p}},$$

где σ_p — предел пропорциональности, для термообработанной стали C-55, может быть принят равным 4000 — 5000 кг/см².

Вместо величины p мы будем подставлять величину $\varphi \cdot p_{max}$, где p_{max} — максимальное давление в реактивной каморе при максимально-допустимой температуре (обычно $+40$°C), а φ — коэффициент запаса прочности, равный 1,2.

Окончательно формула для расчета стенок каморы будет иметь вид

$$D_н = D_к \sqrt{\frac{3\sigma_p + \varphi \cdot p_{max}}{3\sigma_p - 4\varphi \cdot p_{max}}}. \quad (24)$$

Толщина стенки будет при этом

$$\delta = \frac{D_н - D_к}{2}. \quad (25)$$

Если определить толщину стенки по формуле, выведенной из условий простого разрыва

$$\delta = \frac{\varphi \cdot p_{max} D}{2\sigma_p}, \quad (26)$$

то толщина стенки, подсчитанная по этой формуле, будет примерно на 10% больше толщины стенки, определяемой по формуле (24). Объясняется это тем, что формула (26) выведена из условия наибольших допустимых напряжений, а формула (24) — из условия наибольших допустимых деформаций.

Толщины действительных и расчетных размеров стенок М-8 и М-13 даны в табл. 25 а.

Таблица 25а

Наименование снаряда	Действительная толщина стенки /в миллиметрах/	Расчетная толщина /в миллиметрах/	
		по формуле 24	по формуле 26
М-8	3,0	2,15	2,4
М-13	4,0	3,6	4,0

Приведенные цифры и методы расчета подтверждаются тем фактом, известным из практики, что камора М-8 разрушается при давлении свыше 500 атм, а камора снаряда М-13 — при давлении порядка 400 атм.

Толщина стенки каморы, определяемая формулой

$$\delta = \frac{D_н - D_к}{2},$$

является той минимальной толщиной, которая обеспечивает прочность при расчетном давлении. Учитывая, что допуски на наружный и внутренний диаметры каморы идут в тело, при назначении чертежных размеров на внутренний и наружный диаметры каморы, к толщине стенки, определяемой формулой 25, необходимо прибавить:

1) допуск на обработку $\frac{\Delta_н + \Delta_к}{2}$, где $\Delta_н$ — наружный и $\Delta_к$ — внутренний допуски на диаметры каморы;

2) допуск на разностенность, величина которого выбирается либо из заданных условий, либо принимается по существующим конструкциям, либо, как это часто делается на практике, равняется половине допуска (большего) на диаметр.

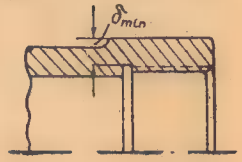


Рис. 184. Выход под резьбу в каморе снаряда.

Определенная таким образом толщина стенок реактивной каморы должна быть выдержана по всей ее длине и, в том числе, в местах сопряжения резьбовой и цилиндрической частей, т. е. в месте выхода канавки под резьбу (рис. 184). Наличие канавки зависит от принятой технологии изготовления резьбы (при нарезке резьбы фрезой выточка канавки под выход резьбы не обязательна).

Резьба, нарезаемая на реактивной каморе, обычно выбирается мелкой, так как она дает большую герметичность соединения, что предупреждает прорыв пороховых газов, имеет меньшую высоту и, следовательно, в меньшей степени ослабляет тонкую стенку каморы. Большее время, требующееся на свинчивание мелкой резьбы, чем крупной, не является в этом случае сколько-нибудь заметным недостатком.

Можно рекомендовать следующие размеры резьб для применения в реактивных каморах:

Калибр снаряда	Шаг резьбы
до 100 мм	2—3 мм
100—200 мм	3—4 мм
свыше 200 мм	4 и выше

Размеры резьбового соединения должны быть рассчитаны по формулам, приводимым в курсах деталей машин.

1. Расчет резьбы на изгиб ведется по формуле

$$n_{из} = \frac{P}{0{,}34\pi d S R_{из}} = \frac{\varphi p_{max} d}{1{,}36 S R_{из}}, \quad (27)$$

где:

P — полное давление на дно или крышку-сопло,
d — диаметр резьбы,
S — шаг резьбы,
$R_{из}$ — допускаемое напряжение на изгиб; может быть принято для конструкционной углеродистой стали 2500 — — 3000 кг/см^2,
n — число витков резьбы.

2. Расчет резьбы на срез

$$n_{ср} = \frac{\varphi p_{max} d}{2 S R_{ср}}, \qquad (28)$$

где $R_{ср}$ — допускаемое напряжение на срез; может быть принято 1500 — 2000 кг/см².

Расчетное число витков, полученное по формулам (27 и 28), должно быть увеличино, так как не все витки одинаково нагружены, кроме того, необходимо еще прибавить 3—4 витка на заход и выход резьбы.

Практически действительное число витков принимают

$$n_{дейст} = 1{,}5\, n_{расч} + 4.$$

Во всех случаях действительное число витков должно быть не менее пяти.

Общая длина резьбы, очевидно, равна $l = n_{дейст} S$.

Фактически в штатных снарядах длина резьбы в 1,5—2 раза больше расчетной. Объясняется это тем, что при расчете резьбового соединения мы не учитывали влияния высокой температуры пороховых газов, а также и потому, что при более длинной резьбе лучше обеспечивается соосность сопрягаемых деталей и наилучшим образом предупреждается прорыв газов, тем более, что качество изготовления резьб еще до сих пор недостаточно высокое.

§ 38. СПЕЦИАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ РЕАКТИВНЫХ КАМОР

Применение реактивных камор, описанных в предыдущем параграфе, ограничивает, в ряде случаев, возможности реактивных снарядов. Например, предельная скорость однокаморного реактивного снаряда $\approx$ 1500 м/сек. Получение больших стартовых скоростей от стартовых камор, имеющих тот же калибр, что и основной снаряд, также затруднено. Для улучшения тактико-технических характеристик реактивных снарядов возможно применение реактивных камор специальных конструкций, к числу которых можно отнести:

1) реактивные каморы многокаморных снарядов,

2) реактивные каморы с двойным выпуском газов,

3) стартовые реактивные каморы.

Рассмотрим более подробно каждую из названных групп специальных конструкций реактивных камор.

1. Реактивные каморы многокаморных снарядов

В главе III было показано, что в однокаморном реактивном снаряде определенному значению C_{q6} соответствует вполне определенная предельно-возможная скорость. Увеличение этой скорости возможно только при применении многокаморных реактивных снарядов.

Многокаморные реактивные снаряды могут быть разбиты на две группы:

а) реактивные снаряды с отделяющимися на полете каморами;

б) реактивные снаряды с каморами, не отделяющимися на полете.

Реактивные снаряды с отделяющимися на полете каморами для получения больших скоростей дают значительно бо́льшие возможности, чем снаряды с неотделяющимися каморами.

Приведем основные выводы теории [1] многокаморных реактивных снарядов с каморами, отделяющимися на полете (относящиеся к движению снаряда в безвоздушном пространстве).

1. Для получения максимальной скорости n каморного снаряда необходимо чтобы приращение скорости снаряда после сгорания каждой каморы было постоянным. Для этого вес порохового заряда, начиная от первой каморы (нумерация ведется по очередности горения порохового заряда) к каждой последующей, должен убывать по закону геометрической прогрессии

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\omega_2}{\omega_3} = \ldots \frac{\omega_{n-1}}{\omega_n} = \mu = \sqrt[n]{\frac{q_6}{Q}}. \qquad (29)$$

где:

ω — вес порохового заряда,

n — число камор,

q_6 — вес боевой части,

Q — полный вес снаряда.

При этом максимальная скорость, слагаемая из n-равных скоростей, может быть определена по формуле

$$V_{max} = n U_e \ln \frac{q_p + \omega}{q_p + \sqrt[n]{\frac{q_6}{Q}}\,\omega}. \qquad (30)$$

---

[1] Подробнее этот вопрос освещен в работах:

И. П. Граве, К вопросу об увеличении скорости реактивных снарядов, Сборник Арткома, № 5, 1946 г.

Ш. М. Ахметшакиров, Исследование влияния весовых характеристик ступенчатых реактивных снарядов на их скорость, НИИ-4, 1948 г.

2. Используя уравнение 30, задавшись эффективной скоростью истечения и отношением $\frac{q_p}{\omega}$, можно построить график

$$V_{max} = f\left(\frac{Q}{q_б}\right)$$

для различного числа камор.

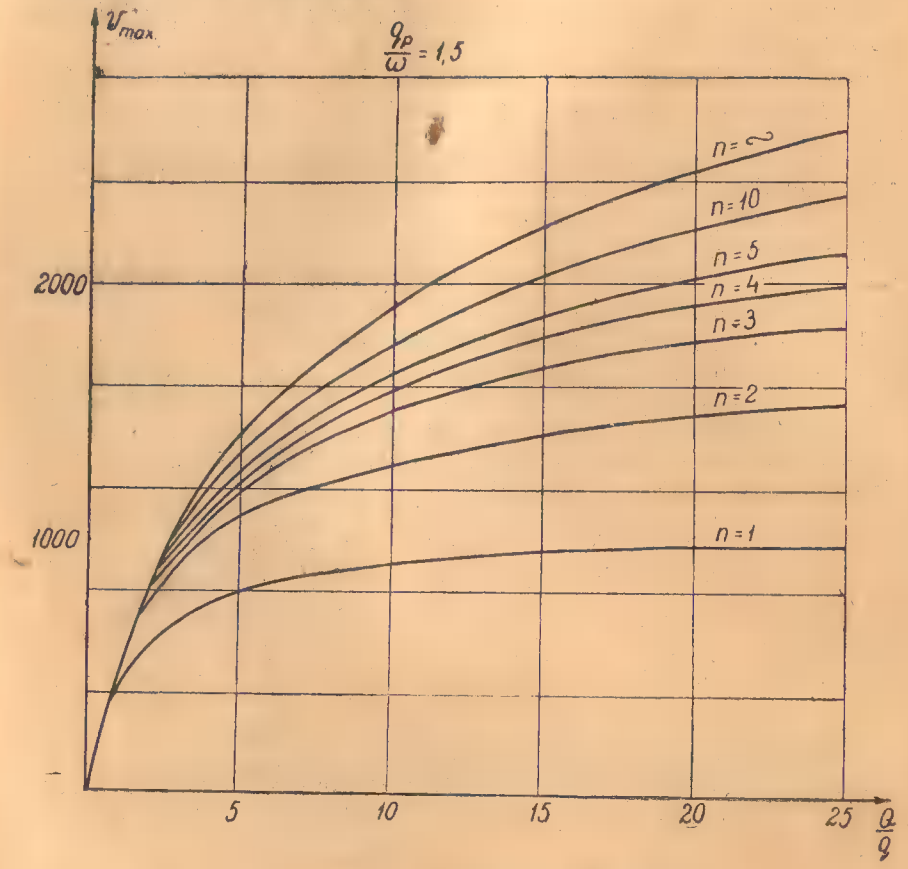


Рис. 185. График зависимости $v = f\left(\frac{Q}{q_б}\right)$.

Такой график для значений $U_e = 2000$ м/сек и $\frac{q_p}{\omega} = 1{,}5$ изображен на рис. 185. Рассмотрение этого графика (и графиков для других значений $\frac{q_p}{\omega}$) позволяет заключить следующее:

а) применение многокаморных снарядов с малым отношением $\frac{Q}{q_б}$ (так называемые перегруженные снаряды) нецелесообразно. Все штатные снаряды полевой реактивной артиллерии сильно перегружены, так как для них $\frac{Q}{q_б} = 2 - 5$;

б) из-за экономических соображений нецелесообразно применять более 4 — 5 камор при $\frac{q_p}{\omega} > 1$ и более 2 — 3 камор при $\frac{q_p}{\omega} < 1$, так как при дальнейшем увеличении числа камор прирост скорости незначительный.

3. Многокаморные реактивные снаряды, пороховые заряды которых равномерно распределены между отдельными каморами, имеют практически ту же скорость, что и снаряды с пороховым зарядом, распределенным по закону геометрической прогрессии при перегруженных снарядах и значительно меньшую скорость у неперегруженных снарядов. Однако многокаморные реактивные снаряды с равными зарядами имеют бесспорные экономические преимущества и более удобны в служебном обращении. Поэтому в некоторых случаях целесообразно иметь смешанную конструкцию, например, в четырехкаморном снаряде вторую и третью каморы делать одинаковыми.

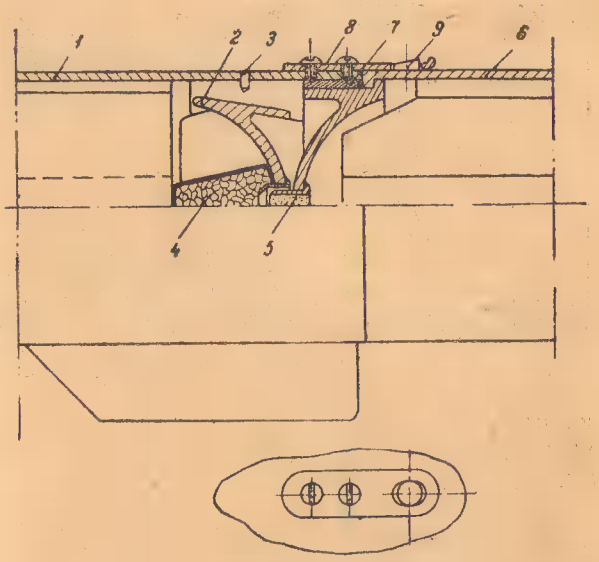


Рис. 186. Схема соединения отделяющихся камор.

В многокаморных реактивных снарядах наибольший конструктивный интерес представляет узел сочленения двух камор, отделяющихся между собой на полете. На рис. 186 изображено соединение двух камор многокаморного реактивного снаряда фирмы «Рейнметалл-Борзиг». Для уменьшения габаритов снаряда по длине сопло каморы (1) выполнено в виде сварного кольцевого сопла (2), крепящегося в каморе штифтами (3). Во внутренней полости кольцево-

го сопла (2) помещен воспламенитель (4), воспламеняющийся от порохового замедлителя (5), который, в свою очередь, зажигается при горении порохового заряда отделяющейся каморы (6). Ко дну отделяющейся каморы приварено кольцо (7), наружный диаметр которого сопряжен по скользящей посадке с каморой (1). При сгорании порохового заряда в каморе (1) струя выходящих газов отталкивает камору (6). Для того, чтобы в служебном обращении каморы не разъединялись, служит пружинная защелка, состоящая

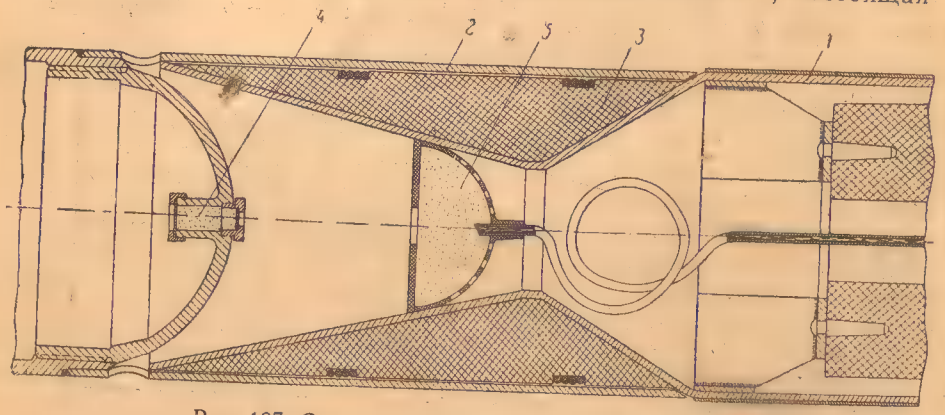


Рис. 187. Схема соединения отделяющихся камор.

из пластинчатой пружины (8), приворачиваемой к каморе (1), и штифта со скосом (9), привариваемого к каморе (6). При отделении каморы пружина (8) разрывается по слабому сечению.

Несколько иная конструкция соединения двух камор изображена на рис. 187. Здесь камора имеет центральное сопло, а для центрования отделяющейся каморы (2) имеется несколько фигурных сегментов (3), выполненных либо из плотного дерева, либо из пластмассы. Каморы соединены между собой благодаря наличию трения между фигурными сегментами и направляющей каморы (2). После передачи огня через передаточный заряд (4) и нижний воспламенитель (5) зажигается пороховой заряд каморы (1) и камора (2) отталкивается давлением вытекающих газов.

Применение многокаморных реактивных снарядов с неотделяющимися каморами повышает предельную дальность стрельбы. Чем больше длина порохового заряда, тем должны быть меньше размеры его поперечного сечения, что влечет за собой уменьшение плотности заряжания. Если длинную реактивную камору разделить на две части и в каждой отдельной каморе предусмотреть свой собственный выход пороховых газов, то такой двухкаморный снаряд получит большие скорости и большие дальности. Примерные расчеты показывают, что для средних калибров

(120—150 мм) при применении одношашечного заряда длиной $L_з$, разделение его на две части дает следующее приращение дальности:

$L_з$ /в калибрах/	12	16	20
ΔX ▪ %	5	15	30

Соединение двух неотделяющихся камор может быть произведено с помощью переходного дна (рис. 188). Сопла переходного дна должны быть расположены таким образом, чтобы струя газов, выходящая через сопло, не била по задней каморе. В зависимости от выбранной схемы снаряда промежуточное дно либо имеет отверстие для соединения внутреннего пространства обоих камор, либо их не имеет. При наличии соединительных отверстий происходит одновременное горение обоих пороховых зарядов, дульная скорость увеличивается, что благоприятно сказывается на кучности. В многокаморных снарядах (с отделяющимися и неотделяющимися каморами) при сжигании порохового заряда не одновременно, а через некоторые промежутки времени, при правильном подборе углов бросания и пауз между временем горения отдельных зарядов можно повысить дальность до 25% .

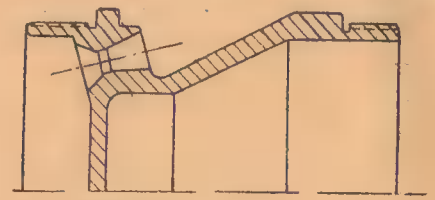


Рис. 188. Переходное дно.

В многокаморных реактивных снарядах с неотделяющимися каморами, из-за уменьшения длины камор, уменьшается газодинамический эксцентриситет, но вследствие увеличения числа сопрягаемых деталей увеличивается геометрический эксцентрисистет. Это обстоятельство иногда вызывает затруднения при заряжании таких снарядов.

2. Реактивные каморы с двойным выпуском газов

Применение двойного выпуска газов в реактивной каморе служит для:

а) увеличения длины порохового заряда без уменьшения его поперечных размеров, а следовательно, и без уменьшения плотности заряжания;

б) конструктивного удобства выполнения сопловой крышки, так как в некоторых случаях, например при тонкосводном пороховом заряде, размеры критического сечения сопла могут получаться большими.

На рис. 189 изображена реактивная камора с двойным выпуском газов. Тонкосводный пороховой заряд (5) ограничен двумя диафрагмами (4) и (6) и, так как истечение газа происходит в обе стороны, зазоры между элементами порохового заряда могут быть вдвое уменьшены, по сравнению с величиной зазоров при одностороннем выпуске. Целесообразность такой конструкции выпуска пороховых газов при применении тонкосводных порохов может быть обоснована еще и тем, что опасность выброса недогоревших элементов порохового заряда, при истечении газов через отверстия в сопловой крышке (2), уменьшаются, так как пороховым газам приходится менять направление движения.

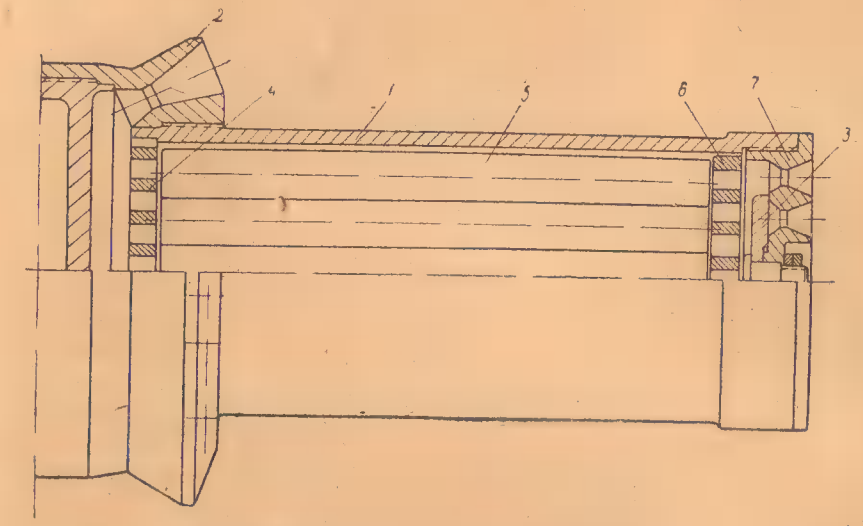


Рис. 189. Каморы с двойным выпуском газов.

3. Стартовые реактивные каморы

Применение в реактивном снаряде комбинированного порохового заряда, состоящего из основного — толстосводного пороха и стартового — быстрогорящего тонкосводного пороха, позволяет получить ступенчатую диаграмму реактивной силы (рис. 141). Если при этом время горения стартового заряда $\tau_{ст}$ равняется или почти равняется времени движения снаряда по направляющей, то получается улучшение кучности снаряда, определяемое величиной $P_{ст}$. Месторасположение быстрогорящего стартового снаряда может быть различным. Возможно помещение основного и стартового заряда в одну общую камору. Если при этом площадь критического сечения сопла будет постоянной, то в каморе во время горения стартового заряда разовьется высокое давление, по величине которого и придется определять прочные размеры каморы. Так как это приведет к значительному утяжелению снаряда, желательно иметь в начальный период горения большую площадь отверстий для истечения в начальный период времени, которая должна быть затем уменьшена. Разработка подобного рода сопел с переменной поверхностью критического сечения представляет безусловный интерес. Однако в настоящее время еще нет простых и надежных конструкций сопел, позволяющих изменять критическое сечение сопла во время горения порохового заряда.

Тонкосводный пороховой заряд можно также помещать в отдельной стартовой каморе, конструктивные особенности которой определяются основным требованием — возможностью сжигания в строго определенное время наивыгоднейшего тонкосводного порохового заряда.

Стартовые реактивные каморы могут быть отделяющиеся и неотделяющиеся. Отделение стартовой реактивной каморы увеличивает скорость и дальность снаряда, но ухудшает кучность, так как при отделении каморы реактивный снаряд испытывает добавочный толчок; недостатком является и то, что отделяющиеся стартовые каморы будут падать в непосредственной близости от огневой позиции, что является небезопасным. Снаряды с неотделяющимися стартовыми каморами лишены этих недостатков; в то же время нетрудно показать, что для снарядов калибром до 200 мм уменьшение дальности полета снаряда весьма незначительное (это, например, следует из рассмотренных кривых $x = f(D_н, C_{qб})$, причем наличие неотделяющейся стартовой каморы равносильно увеличению $C_{qб}$. В реактивном снаряде отделяющаяся стартовая камора, естественно, должна быть расположена сзади основной тяговой каморы; неотделяющаяся стартовая камора может быть расположена сзади или спереди основной каморы. Если возможно обеспечить требуемое сечение сопел для прохода истекающих газов, то следует предпочесть расположение стартовой каморы впереди основной, так как при этом:

а) использование энергии основного порохового заряда будет лучшим (истечение газов происходит через отверстия, расположенные вдоль оси снаряда, а не под углом к оси);

б) исключается вредное влияние истекающих из основной каморы газов на стабилизатор.

Если задана толщина горящего свода (определяемая временем движения снаряда по направляющей и давлением в стартовой каморе, которое, как указывалось ранее, выбирается в пределах 400—600 кг/см^2), то можно, используя зависимости, полученные в

§ 24, определить параметры порохового заряда, обеспечивающего наибольшую возможную стартовую скорость. Если при этом окажется, что длина стартовой каморы будет очень велика, а величина стартовой скорости может быть уменьшена, то следует укоротить стартовую камору. При этом длина периметра стартового заряда любой формы определится из очевидного соотношения

$$\varkappa_{пр} = \frac{2SL}{F_к - 2e_1 S}.$$

Нетрудно показать, что вес тонкосводного порохового заряда при увеличении его длины растет более медленно, чем его длина.

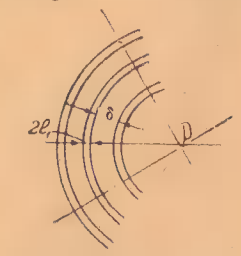


Рис. 190. Схема для подсчета веса телескопического заряда.

Рис. 191. График $\omega = f(L)$.

В самом деле, для рулонного (или телескопического) порохового заряда (рис. 190) вес порохового заряда

$$\omega = F_к L \Delta,$$

где Δ — плотность заряжания.

Из рис. 190 следует, что

$$\Delta = \frac{2e_1}{2e_1 + \delta}.$$

Но так как

$$\varkappa = \frac{2\pi DL}{\pi D\delta} = \frac{2L}{\delta},$$

то, следовательно, будем иметь

$$\omega = F_к L\Delta = F_к \frac{L2e_1}{2e_1 + \frac{2L}{\varkappa}} = F_к \frac{Le_1}{e_1 + \frac{L}{\varkappa}}.$$

На графике (рис. 191) представлена кривая $\omega = f(L)$ для определенных значений $F_к$, $2e_1$, $\varkappa$. Из этого графика видно, что для увеличения веса тонкосводного порохового заряда нецелесообразно итти по пути увеличения длины заряда, а разумно применять короткие пороховые заряды. Этим объясняется то, что в немецком реактивном снаряде «Рейнботе» калибр стартовой каморы больше калибра основного снаряда.

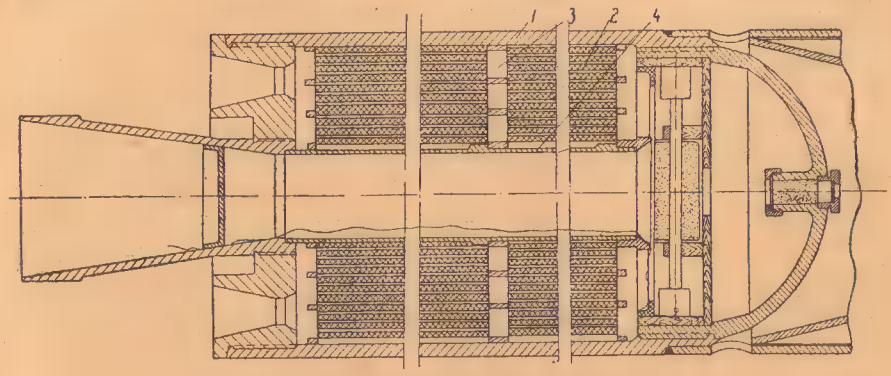


Рис. 192. Схема стартовой каморы.

На этом же принципе устроена стартовая реактивная камора, изображенная на рис. 192, разработанная старшим техником-лейтенантом Мазинг Г. Ю. Тонкосводный пороховой заряд разделен решетчатой (возможно и сплошной) перегородкой (3) на две части,

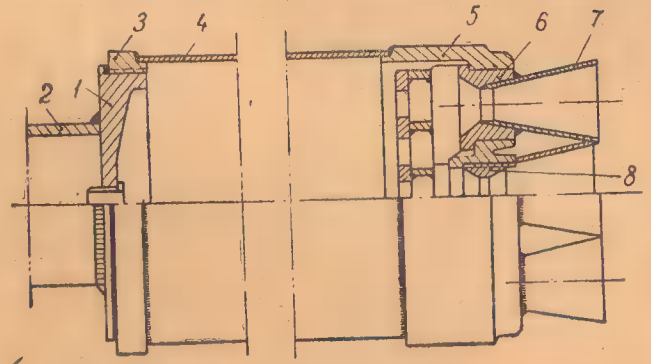


Рис. 193. Стартовая камора снаряда Рейнботе.

что позволяет значительно увеличить его вес. Истечение газов порохового заряда (2) происходит через трубу (4), причем скорость движения этих газов равна критической скорости, т. е. значительно большей, чем скорость движения газов через зазоры порохового элемента.

На рис. 193 изображена конструкция стартовой каморы к многокаморному снаряду «Рейнботе». Как видно из рисунка, диаметр

стартовой каморы значительно больше диаметра последующих камор. В конструкции каморы широко применена точная сварка по кондукторам, что в значительной мере упрощает технологию. Ко дну (1) каморы приваривается труба (2), которая одевается на последующую камору. Снаряжение каморы производится после вывертывания дна (1). Собственно камора состоит из кольца (3), трубы (4) и штампованного дна (5), сваренных между собой газовой сваркой. В дне (5) расточено семь отверстий, в шесть из них вставлены и приварены втулки (6), к которым привариваются сопла (7); в центральное сопло вставляется сменное очко (8) для регулирования давления.

§ 39. ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ДОНЬЯ

Промежуточное дно служит для отделения горящих газов в реактивной каморе от боевой части и может быть либо самостоятельной деталью (снаряд М-13), либо соединено с реактивной каморой, либо соединено с корпусом боевой части. Конструкция дна

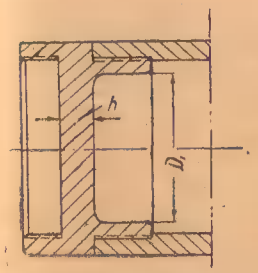


Рис. 194. Плоское дно.

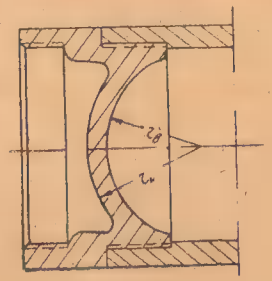


Рис. 195. Выпуклое дно.

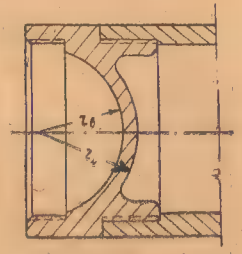


Рис. 196. Вогнутое дно.

должна обеспечивать прочное, герметичное и соосное соединение боевой и реактивной частей. Иногда дно играет роль детали, по которой производится подгонка по весу той тонкостенной детали (реактивная камора, боевая часть фугасных, зажигательных и других снарядов), с которой оно соединено. По конфигурации промежуточные донья могут быть плоскими (рис. 194), выпуклыми (рис. 195), вогнутыми (рис. 196). Изготавливается дно из углеродистой стали (чаще всего из той же стали, что и реактивная камора).

Конструкции доньев разбирались ранее при рассмотрении конструкции реактивной каморы. Здесь мы остановимся только на определении толщины стенки дна при различных их конфигурациях.

Для расчета толщины стенок плоских доньев применяют обычно формулы, выводимые в теории изгиба тонких пластинок, но при этом вводится коэффициент, согласующий теоретические формулы

с результатами непосредственного опыта. Толщина плоского дна определяется формулой

$$h = D_1 \sqrt{\psi \frac{\varphi p_{max}}{4\sigma_p}}, \qquad (31)$$

где:

h — толщина дна,

ψ — опытный коэффициент, принимаемый равным 1/3 — 1/2.

Величина D_1 может быть взята $\approx D_к$.

Остальные обозначения те же, что и в § 37.

Расчет доньев с выпуклой и вогнутой формой представляет значительные трудности, а поэтому их обычно рассматривают как часть полого шара внутреннего радиуса $r_в$ и, в зависимости от конфигурации доньев, его размеры определяются соотношениями:

а) для выпуклого

$$r_н = r_в \sqrt{\frac{\sigma_p + 0{,}4\varphi p_{max}}{\sigma_p - 0{,}65\varphi p_{max}}}, \qquad (32)$$

б) для вогнутого

$$r_в = r_в \sqrt{\frac{\sigma_p}{\sigma_p - 1{,}05 \cdot \varphi p_{max}}}. \qquad (33)$$

Для обоих случаев, если принять толщину стенки дна значительно меньшей радиуса, ее размер определяется формулой

$$h = \frac{1}{2} r_в \frac{\varphi p_{max}}{\sigma_p}. \qquad (34)$$

При выпуклом дне напряжения будут растягивающими, при вогнутом — сжимающими. Расчеты по приведенным выше формулам показывают, что толщина сферических доньев может быть в 3—4 раза меньше толщины плоских, что дает большую экономию в весе снаряда; это получается, однако, при радиусах доньев, взятых в пределах 3—4 радиусов каморы. Следует помнить о том, что при тонких доньях увеличивается опасность разогревания ВВ, так что необходимо предусмотреть надлежащую его изоляцию.

§ 40. СОПЛОВАЯ КРЫШКА

Сопловой крышкой мы будем называть деталь реактивного снаряда (крышка-сопло, турбинка, дно с прорезями), имеющую одно или несколько отверстий любой, чаще всего круглой, формы. Суммарная площадь этих отверстий, в общем случае, во время работы порохового двигателя может меняться; в то же время суммарная площадь этих отверстий при заданных параметрах порохового заряда определяет давление в реактивной каморе.

Конструктивно сопловая крышка может быть выполнена либо в виде одной цельной или сварной детали, либо в виде нескольких деталей. Например, в снарядах крупных калибров по технологическим соображениям детали крышка и сопло (рис. 197) делаются раздельно. Наоборот, при малых калибрах всегда разумно сопловую крышку делать всегда заодно с реактивной каморой.

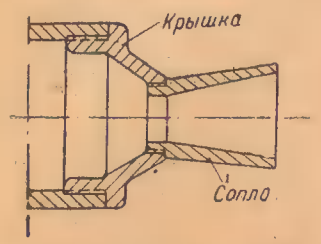


Рис. 197. Сопловая крышка, состоящая из нескольких деталей.

1. Служебные требования и классификация сопел

К сопловой крышке могут быть предъявлены следующие основные служебные требования:

1. Создание определенного давления в реактивной каморе, которое при заданных размерах порохового заряда и выбранной марке пороха определяется площадью критического сечения сопла.

2. Создание определенного режима истечения пороховых газов для получения наивыгоднейшего единичного импульса. Выполнение этого требования связано, в первую очередь, с надлежаще выбранной формой выходного раструба сопла (отношения $\frac{d_a}{d_к}$, угла раструба, чистоты поверхности выходного конуса).

3. Достаточная прочность сопла в целом и отдельных его элементов (резьбы), нагруженных силой давления пороховых газов и подверженных влиянию высоких температур. Простые теоретические соображения (наибольшая скорость движения газов у сопла, и следовательно, и наибольший коэффициент теплопередачи) показывают, а прямые опыты подтверждают, что из всех деталей реактивного снаряда наиболее сильно нагревается сопловая крышка.

4. Концентричность раструба сопла его направляющим элементам, перпендикулярность выходного среза сопла его геометрической оси. Невыполнение этих требований увеличивает эксцентриситет реактивной силы и, следовательно, рассеивание снарядов.

5. Высокая технологичность конструкции и, в частности, расчетное обоснование требуемой точности изготовления диаметра критического сечения сопла, которое выполняется наиболее точно по сравнению с другими размерами обычных и реактивных боеприпасов. Следует помнить, что после реактивной каморы сопло самая дорогая деталь реактивного снаряда.

6. Надежное крепление диафрагмы, которая, в большинстве случаев, скрепляется с соплом, надежное крепление стабилизатора к сопловой крышке.

7. Удобное и надежное крепление деталей воспламенительной системы и деталей, обеспечивающих герметичность реактивной каморы.

8. В ряде случаев сопловая крышка может служить деталью, изменением веса которой подгоняют вес снаряда.

Вследствие того, что сопловая крышка работает под значительными нагрузками, необходимо обеспечить ее прочность при возможно меньшем весе конструкции. Поэтому сопловая крышка делается, как правило, из конструкционной углеродистой стали (С-50, С-55) и подлежит термообработке (закалке и высокому отпуску до твердости $R_c = 32—36$ или $H_B = 300—340$). После термообработки сопловая крышка подвергается механической обработке, а поэтому твердость ее не должна быть слишком большой. Смысл термообработки состоит и в том, что слегка закаленные детали при механической обработке дают более чистую поверхность, а раструб выходного сечения и, в особенности, критическое сечение сопла должны иметь чистую поверхность во избежание завихрений и потери скорости в потоке пороховых газов.

При небольших калибрах реактивных снарядов, когда имеется возможность обеспечить достаточную механическую прочность, можно изготовить сопловую крышку из керамики (фарфор, огнеупорная глина). Возможно также, например, изготавливать турбину металлическую, а сами сопла — из керамики. Применение керамики облегчает изготовление сопел, гарантирует критическое сечение сопла от размыва пороховыми газами, предохраняет критическое сечение от налипания частиц расплавленного металла от диафрагмы.

Существующие конструкции сопел могут быть разбиты по принципу регулирования давления в каморе на следующие четыре группы:

1) простые (нерегулируемые) сопла;
2) сменные сопла и заглушки;
3) регулируемые сопла (с предварительной установкой);
4) сопла с предохранительным клапаном.

Рассмотрим более подробно конструктивные формы и работу этих сопел.

2. Простые сопла (нерегулируемые)

Сопловая крышка с нерегулируемыми соплами может иметь одно или несколько сопел. Выбор сопловой крышки с одной или несколькими соплами должен вестись с учетом следующих факторов: уменьшения веса и длины снаряда, экономичности изготовления, уменьшения эксцентриситета реактивной силы.

Применение многосопловой конструкции сокращает длину сопловой крышки, а следовательно, и длину снаряда, так как длина

сопловой крышки примерно пропорциональна диаметру критического сечения сопла. Вес сопловой крышки с одним или несколькими соплами примерно одинаков.

Что касается экономичности изготовления, то преимущества на стороне односопловой конструкции, так как, во-первых, изготовление нескольких отверстий, безусловно, дороже изготовления одного отверстия, хотя и большего диаметра, и, во-вторых, как будет показано ниже, для получения одного и того же разброса давлений отверстия меньшего диаметра всегда приходится делать по более высокому классу точности.

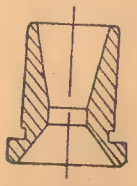


Рис. 198. Втулка к соплу снаряда „Тайфун".

Имеется одно обстоятельство, говорящее в пользу многосопловой конструкции. В некоторых снарядах (например, у снаряда „Тайфун") крышка изготавливается из более дешевой и простой стали, а отдельные сопла, имеющие вид втулок (рис. 198), выполняются из более дорогой, жароупорной, термически обработанной стали. В этом случае отдельные втулки могут быть, изготовлены более производительными и точными методами (например, обработка на автомате и последующая шлифовка по наружному диаметру и диаметру критического сечения). Кроме того, если при обработке сопловой крышки со вставными втулками одно из отверстий будет забраковано по размеру, то возможна замена одной из втулок и браковать всю сопловую крышку нет необходимости.

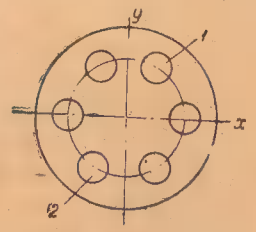


Рис. 199. Схема многосопловой конструкции.

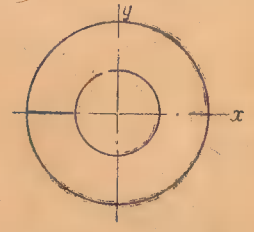


Рис. 200. Схема односопловой конструкции.

Вопрос о величине эксцентриситета для одно- и многосопловой конструкции не получил еще должного разрешения как с практической, так и с теоретической стороны. Например, в отчете об изготовлении снаряда „Тайфун" указывается, что применение многосопловой конструкции уменьшает величину эксцентриситета и улучшает кучность. В то же время по данным отечественных опытов, правда весьма ограниченных, можно сделать противоположный вывод.

На величину эксцентриситета в многосопловой конструкции (рис. 199) влияют три фактора:

1) смещение центра отверстия по координатам x и y,

2) разница в диаметрах критического сечения симметрично расположенных отверстий 1 и 2,

3) перекос отверстий относительно оси снаряда.

На величину эксцентриситета в односопловой конструкции (рис. 200) влияют два фактора:

1) смещение центра отверстий по координатам x и y,

2) перекос отверстия относительно оси снаряда.

Предварительные исследования показывают, что в многосопловой конструкции на величину эксцентриситета весьма существенное значение оказывает разница в диаметрах критического сечения симметрично расположенных отверстий. Поэтому утверждение, что многосопловые конструкции улучшают кучность, так как они усередняют ошибку в положении отверстий, нам кажется недостаточно обоснованным.

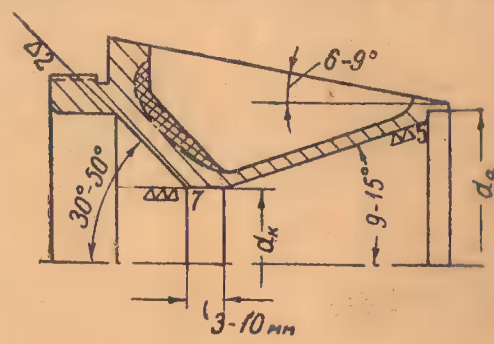


Рис. 201. Крышка-сопло снаряда М-13.

На рис. 201 изображена типовая конструкция детали крышка-сопло, применяющейся в снаряде М-13.

Входная часть сопла выполняется в виде цилиндра и усеченного конуса с углом у вершины 60 — 100°. Желательно, чтобы объем этой входной части конуса (измеряемый от торца заряда до критического сечения сопла) составлял около 1/10 общего объема каморы, что обеспечивает наилучшее догорание пороховых газов. Форма входной части сопла не оказывает заметного влияния на работу порохового двигателя. Вначале пытались на входной части вместо усеченного конуса делать сферическую поверхность для более плавного входа газов. Это увеличило технологические трудности и не улучшило режима истечения. Входная часть конуса может быть обработана довольно грубо (▽2—▽3 по ГОСТ 2789-45 г.).

В критическом сечении сопла имеется цилиндрическая площадка шириной от 3 до 10 мм в зависимости от калибра снаряда.

Назначение этой цилиндрической площадки следующее:

1) обеспечить возможность изготовления критического сечения сопла по относительно высокому классу точности, так как изготовление по такому же классу отверстия, полученного в результате сопряжения двух усеченных конусов, было бы практически чрезвычайно трудным;

2) отверстие с острыми краями, образованное сопряжением двух усеченных конусов, быстро размывалось бы струей раскаленных пороховых газов, что повлекло бы за собой большой разброс давлений;

3) цилиндрическая поверхность способствует выравниванию струи пороховых газов.

Чистота поверхности критического сечения сопла должна быть ▽▽▽7—▽▽▽8.

Выходной конус крышки-сопла обрабатывается с углом раструба 18—20° (можно без заметного уменьшения единичного импульса этот угол довести до 30°, что уменьшает длину сопла). Чистота поверхности сопла должна быть достаточно высокой — примерно ▽▽4—▽▽5 по Гост 2789-45 г.

На торце раструба делается специальная расточка, чтобы толщина стенки у торца равнялась 0,5—1 мм. Торцевая часть сопла развальцовывается при посадке обтекателя. При подгонке по весу из детали крышка-сопло вынимается часть металла (заштриховано на рис. 201).

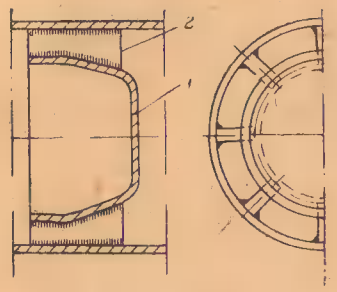


Рис. 202. Кольцевое сопло.

Показанное на рис. 202 кольцевое сопло, применяемое в многокаморных снарядах, удобно при соединении нескольких камор. Такого же рода конструкция применялась в опытных образцах отечественных противотанковых снарядов. Внутрь каморы вставляется штампованная чашка (1), форма которой создает входной и выходной конусы сопла. (Для облегчения изготовления чашки (1) входной конус иногда не делают). Между чашкой и каморой устанавливаются и привариваются ребра (2). При изготовлении надо следить за тем, чтобы чашка (1) занимала строго центральное положение, так как этим определяется эксцентриситет реактивной силы.

В изображенном на рис. 202 кольцевом сопле точная фиксация площади критического сечения сопла представляет некоторые технологические трудности.

Крепление сопловой крышки в реактивной каморе может быть произведено сваркой, закаткой, резьбой так, как это указывалось в § 37. Если есть сомнения в надежном предохранении от прорыва пороховых газов через сопловую крышку, то рекомендуется применять обтюраторы из доломина, медной проволоки, обмотанной асбестом, и других материалов.

3. Сменные сопла

Сменные сопла и заглушки применяются для регулировки давления в реактивной каморе при изменении температуры и возможном изменении других параметров заряжания. На рис. 203 изображена сопловая крышка, у которой одно или несколько сопел могут меняться.

Сменное сопло крепится на резьбе, хотя возможна и другая

конструкция крепления, которая должна обеспечивать надежность закрепления сменного сопла и возможность быстрой замены одного сопла другим.

Достоинствами сменных сопел при применении их для регулировки давления в реактивной каморе являются простота конструкции и возможность уложиться в тех же габаритах и весах, которыми характеризуются простые нерегулируемые сопла.

Главнейшими недостатками сменных сопел является неудобство в служебном обращении, так как необходимо вместе с боеприпасами иметь запас сменных сопел; кроме того, постановка сменных сопел часто должна производиться на боевой позиции, что представляет явные неудобства. Поэтому область применения сменных сопел должна ограничиться снарядами крупных калибров, стрельба которыми ведется при значительном удалении от передовой линии.

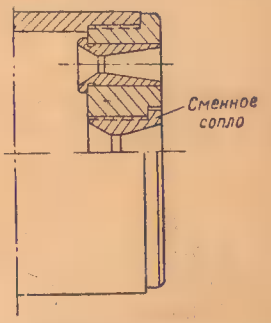


Рис. 203. Сменное сопло.

Обычно сменные сопла делаются либо на два комплекта, обеспечивающих диапазон положительных и отрицательных температур, либо на три комплекта, работающих на диапазонах температур от — 40 до — 15°; от —15 до +15° и от +15 до +40° С.

Определение площади сечения сопел при различных температурах производится обычным методом, но при этом необходимо знать температурную зависимость $u_1 = f(t_{зар})$.

Так как наиболее хорошо изученной является зависимость давления от температуры заряда[1], то можно, используя эту зависимость, определить изменение критического сечения сопла при изменении температуры заряда. Используя уравнение равенства прихода и расхода, можно написать:

$$p_t = \left(\frac{\delta S \sqrt{f_0}\, u_{1t}}{\varphi_2 a \omega_k} \right)^{\frac{1}{1-\nu}},$$

где t — температура заряда; откуда следует

$$\frac{p_t}{p_{15}} = \left(\frac{u_{1t}}{u_{1\cdot 15}} \right)^{\frac{1}{1-\nu}}.$$

[1] Я. М. Шапиро, Теория пороховых реактивных снарядов, стр. 92, изд. Артакадемии.

Так как зависимость $\frac{p_t}{p_{15}}$ изучена многими авторами, может быть также определено соотношение $\frac{u_{1t}}{u_{1\cdot 15}}$.

Используя приведенную в книге Я. М. Шапиро зависимость для $\frac{p_t}{p_{15}}$, найдем следующую зависимость скорости горения, как функции температуры заряда для пороха H.

Таблица 26

Заряд	−40°	−30°	−20°	−10°	0°	10°	20°	30°	40°
$\frac{u_1 \cdot t}{u_1 \cdot 15}$	0,88	0,89	0,90	0,93	0,95	0,98	1,02	1,06	1,09

Далее, используя то же самое равенство прихода и расхода и задаваясь условием, чтобы максимальные давления при различных температурах были одинаковы (за счет изменения критического сечения сопла), можно написать равенство

$$P_t = \left(\frac{\delta S V \overline{f_0}}{\varphi_2 a} \cdot \frac{u_{1\cdot t}}{\sigma_{k\cdot t}}\right)^{\frac{1}{1-\nu}} = P_{15} = \left(\frac{\delta S V \overline{f_0}}{\varphi_2 a} \cdot \frac{u_{1\cdot 15}}{\sigma_{k\cdot 15}}\right)^{\frac{1}{1-\nu}}.$$

Отсюда непосредственно следует, что

$$\frac{\sigma_{k\cdot t}}{\sigma_{k\cdot 15}} = \frac{u_{1\cdot t}}{u_{1\cdot 15}}. \qquad (35)$$

Таким образом, определив критическое сечение сопла при нормальной температуре, можно, используя табл. 26, определить размеры сменных сопел для любых других температур.

4. Регулируемые сопла

Регулируемые сопла так же, как и сменные, применяются для регулировки давления при изменении температуры и при возможных изменениях параметров заряжания. Регулируемые сопла входят органически в конструкцию реактивного снаряда, имеют один или несколько подвижных элементов, изменяющих площадь критического сечения сопла.

Регулируемые сопла лишены недостатка сменных — необходимости иметь запасные сопла. Однако конструкция регулируемых сопел значительно сложнее конструкции сменных сопел. Регулируемые сопла удорожают и утяжеляют конструкцию реактивного снаряда, а потому их применение может быть оправдано в относительно дорогих снарядах крупных калибров, либо в снарядах, кучность которых в большой степени зависит от температурных условий и может быть сохранена только при малых колебаниях давления в реактивной каморе. Установка регулируемого сопла на нужный диапазон давления должна осуществляться просто, так как зачастую производится на огневой позиции. Пусковые устройства для снарядов с регулируемым соплом снабжены обычно термометром для определения температуры. В осуществленных конструкциях регулируемых сопел применено два принципа: 1) плавное, бесступенчатое изменение критического кольцевого сечения посредством сдвигания и раздвигания конусов (рис. 204) и 2) ступенчатое изменение критического сечения сопла перекрытием ряда отверстий (рис. 205).

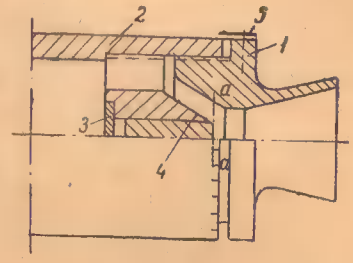


Рис. 204. Конусное регулируемое сопло.

Изображенная на рис. 204 конструкция регулируемого сопла состоит из сопла (1), ввертывающегося в реактивную камору (2)

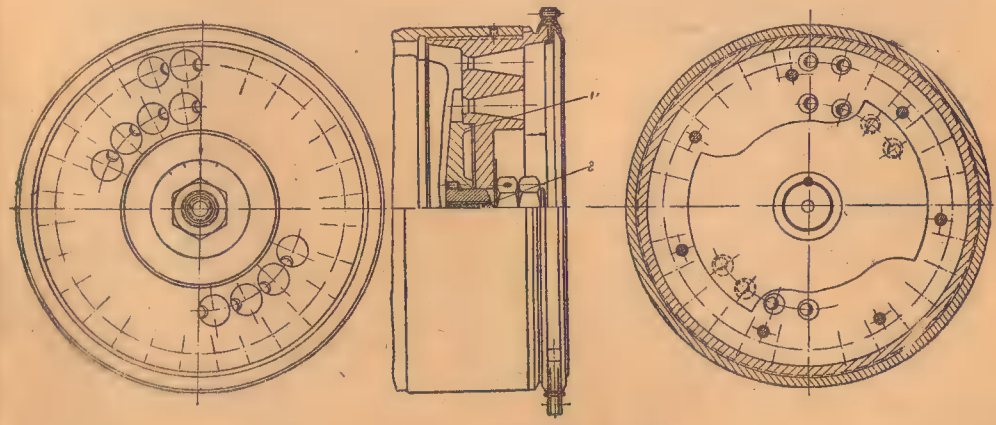


Рис. 205. Ступенчато-регулируемое сопло.

и тем самым удаляющуюся либо приближающуюся к конусу (4). Роль критического сечения в этой конструкции играет кольцевой зазор в сечении $a-a$. При этом стрелка (5) по шкале, нанесенной на каморе, показывает необходимую установку сопла (1) в зависимости от температуры. В конструкции подобного рода обязательно должна быть предусмотрена срезающаяся диафрагма (3), которая

предупреждает разрыв каморы в том случае, если регулируемое сопло по какой-либо причине будет установлено ошибочно и повлечет недопустимое повышение давления в реактивной каморе.

Изображенная на рис. 205 конструкция регулируемого сопла показывает принцип ступенчатого регулирования давлений. В сопловой крышке имеются два концентрических ряда сопел: наружный ряд — постоянно действующие и внутренний ряд сопел, которые можно перекрыть поворачивающейся крышкой (1). Перекрывающиеся сопла симметрично расположены только на части окружности и поэтому при повороте крышки (1) одновременно закрываются два, симметрично расположенные противоположные сопла, чем исключается появление эксцентричной составляющей реактивной силы. Крышка (1) помещается изнутри каморы и вращается вместе с осью (2), на которой находится указатель, показывающий нужную установку. При проектировании подобных регулируемых сопел следует обращать внимание на то, чтобы не было случайного прорыва пороховых газов через крышку (1) и перекрываемые сопла, так как это поведет к резкому падению кучности снарядов.

5. Сопла с предохранительным клапаном

Сопла с предохранительным клапаном лишены недостатков сменных и регулируемых сопел, так как отпадает необходимость запаса сменных сопел; не требуется установка сопел на огневой позиции. Но одновременно они являются наиболее сложными и дорогими в производстве, а поэтому их целесообразно применять в крупных реактивных снарядах.

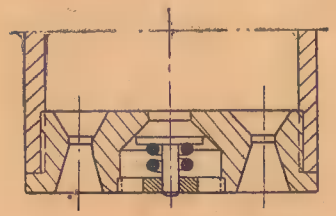


Рис. 206. Сопло с предохранительным клапаном.

В некоторых случаях предварительная установка сопла невозможна вследствие неудобств установки и незнаний тех условий, при которых будет работать пороховой двигатель (например, авиационные реактивные бомбы). Сопло с предохранительным клапаном (рис. 206) состоит из нескольких постоянных сопел и ряда сопел, выполненных в виде пружинного предохранительного клапана (регулируемого сопла). Предварительное поджатие пружины устанавливается таким образом, что при требующемся давлении кла частично открыт, причем величина открытия сопла является ф цией давления. При небольшом давлении, вследствие предв тельного поджатия пружины, регулируемое сопло закрыто. С возрастанием давления оно открывается, причем сечение для выхода газов увеличивается до тех пор, пока в конце концов при некотором определенном давлении снова не станет постоянным. Колебания давления при регулируемом сопле с изменением параметров заряжания будут значительно меньшими, чем при отсутствии регулирующего устройства. С изменением давления пружинный клапан приходит в колебательное движение, и поэтому нахождение условий устойчивости равновесного давления включает определение параметров регулирующего устройства, при которых колебания давления будут затухающими.

6. Точность, технология изготовления сопловых крышек

При расчете сопловой крышки на прочность можно исходить из тех же условий, что и при определении прочных размеров реактивной каморы с учетом того, что сопло нагревается до более высоких температур.

Расчет резьбы сопловой крышки производится на изгиб и срез аналогично расчету резьбы реактивной каморы. Толщина стенок сопла должна быть проверена по формуле

$$\delta = \frac{\varphi p D}{2},$$

где:

D — переменный диаметр сопла,

p — давление в различных сечениях сопла подсчитывается по зависимостям, установленным в теории пороховых реактивных снарядов.

Материалом для изготовления сопловой крышки служит, в большинстве случаев, углеродистая конструкционная сталь тех же марок, которые применяются для изготовления реактивной каморы.

Точность изготовления сопловой крышки может быть установлена следующая:

1) большинство размеров неответственного назначения и на не сопрягаемых местах (длина, диаметр входного конуса, больший диаметр выходного конуса и т. д.) могут быть изготовлены по 5 или 7 классам точности;

2) сопрягаемые размеры, например, направляющий диаметр для центрования с реактивной каморой, диаметры конусной части под обтекатель изготавливаются по допускам, 3—4 класса точности;

3) резьба выполняется по 2 или 3 классам точности;

4) диаметр критического сечения сопла выполняется по 3 или более грубому классу точности, который может быть определен следующим образом. Считаем, что для определенного снаряда параметры заряжания, кроме критического сечения сопла, не меняются. Равенство прихода и расхода имеет следующий вид

$$p = \left(\frac{\delta S_0 u_1 \sqrt{f_0}}{\varphi_2 a \sigma_k}\right)^{\frac{1}{1-\nu}} = \text{const}\,\sigma_k^{-3{,}33}. \qquad (36)$$

Логарифмируя и затем дифференцируя уравнение (36), получаем

$$\frac{\Delta p}{p} = -3{,}33\,\frac{\Delta\sigma_к}{\sigma_к}. \qquad (37)$$

Физический смысл знака минус в уравнении (37) состоит в том, что при отрицательном приращении $\Delta\sigma_к$ (уменьшение отверстия) приращение Δp будет положительным, т. е. давление в каморе увеличится, что вполне естественно.

Если принять допуск на диаметр критического сечения равным δ, то приращение

$$\Delta\sigma_к = \pi d_к \frac{\delta}{2}.$$

Следовательно,

$$\frac{\Delta p}{p} = -3{,}33\,\frac{\Delta\sigma_к}{\sigma_к} = -3{,}33\,\frac{\pi d_к\,\delta 4}{2\pi d_к^2} = -6{,}66\,\frac{\delta}{d_к},$$

откуда окончательно величина допуска на диаметр критического сечения сопла будет равна

$$\delta = -0{,}15\,\frac{\Delta p}{p}\cdot d_к. \qquad (38)$$

Выбор величины допустимого разброса давлений $\frac{\Delta p}{p}$ может быть взят из существующих конструкций; могут быть также приведены некоторые теоретические обоснования для выбора этой величины. По допускам диаметров критического сечения сопла в существующих конструкциях реактивных снарядов можно принять $\Delta p = 5$ кг/см² при давлении $p = 150$ кг/см², т. е. $\frac{\Delta p}{p} = (3-4)\%$.

Расширение допусков на разброс давления свыше означенной величины повлекло бы за собой опасность разрыва каморы, если бы этот разброс был направлен в сторону увеличения номинального давления, либо опасность аномального горения пороха, если бы этот разброс был направлен в сторону уменьшения номинального давления.

Если принять разброс давления 3,33% и обозначать допуск в микронах, а диаметр отверстия — в миллиметрах, то из формулы (38) следует:

$$\delta_\mu = 5 d_к.$$

Уравнение 38 показывает, что для одного и того же допустимого разброса давлений между допуском на диаметр и диаметром существует линейная зависимость, изображенная на рис. 207 прямой линией $o-a$. На этой же фигуре нанесены величины допусков для различных классов точности, взятые непосредственно из таблиц допусков. Рис. 207 позволяет сразу для определенного диаметра сопла выбрать класс точности, при котором разброс давлений будет не больше заданного, определяемого наклоном линии $o-a$. Например, диаметр d_1 следует изготавливать по 3 классу точности; изготовление его по 4 классу даст разброс давлений более 3%.

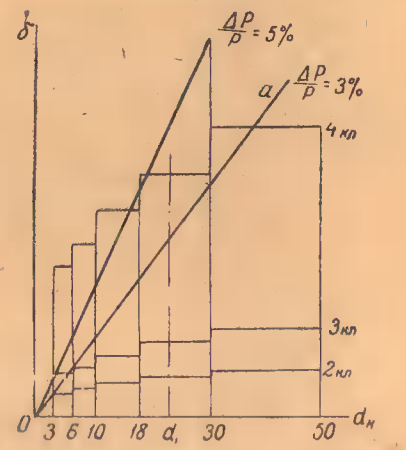


Рис. 207. Зависимость между допуском на dk и разбросом давлений.

Из того же графика следует, что чем больше диаметр сопла, тем более грубый класс точности может быть принят для обработки критического сечения сопла при одинаковом (выраженном в процентах) рассеивании давлений.

Можно теоретически показать, что рассеивание размеров критического сечения сопла незначительно влияет на рассеивание скорости реактивных снарядов.

В качестве заготовки для изготовления крышки-сопла служат поковки, выполненные из цельного металла (рис. 208,*а*) или из трубы (рис. 208,*б*). Форма заготовки для турбинки изображена на рис. 209. Заготовка на сопло, выполненная по рис. 208,*б*, дает экономию в весе металла по сравнению с рис. 208,*а* примерно на 50%.

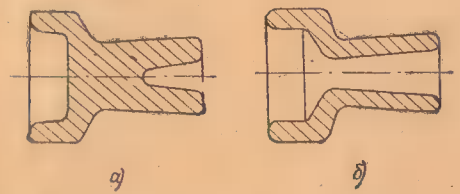


Рис. 208. Заготовка для крышки-сопла.

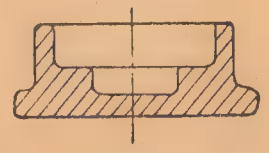


Рис. 209. Заготовка для турбинки.

Технология изготовления крышки-сопла состоит в следующем:

А. Подготовительные операции:

1) обдирка детали поверху с припуском по диаметру на 2— 4мм, подрезка торцов;

2) сверление критического сечения, обдирка (резцом или зенкером) выходного конуса, обдирка входного конуса и цилиндрической части, с припуском по внутреннему диаметру 2—3 мм.

Б. Термообработка детали:

3) закалка в масле;

4) высокий отпуск на воздухе.

В. Окончательная механическая обработка:

5) предварительная обточка по наружному профилю и подрезка торцов;

6) окончательная расточка выходного конуса (в 2 прохода);

7) окончательная расточка входного конуса;

8) окончательная отделка критического сечения сопла (расточка и развертка);

9) окончательная обточка по наружному профилю (обточка выходного конуса, фасонная проточка под резьбу, проточка под обтекатель);

10) фрезеровка и окончательная калибровка резьбы.

Г. Гидравлические испытания крышки сопла:

11) гидравлические испытания проводятся при том же расчетном давлении, при котором работает сопло. Время выдержки 30—40 сек. На этой операции проверяется прочность крышки-сопла, прочность резьбы. Эта операция производится на том же оборудовании, что и испытание реактивных камер. Присутствие представителя военной приемки на гидравлических испытаниях крышки-сопла обязательно.

Д. Прочие операции:

12) фрезеровка пазов под колосники диафрагмы;

13) подгонка детали по весу.

Подробный перечень операций изготовления крышки-сопла снаряда М-13 дан в приложении 9.

Помимо брака, зависящего от общих причин (неправильная установка резцов, фрез, неправильная установка копира, биение шпинделя станка и т. д.) при обработке детали крышка-сопло могут быть следующие причины брака.

1. Ввиду того, что критическое сечение изготавливается по высокому классу точности, то даже небольшие неисправности станка, неправильная заточка развертки, неравномерная вязкость металла после термообработки, налипание стружки на грани развертки ведут к получению рваной, нечистой поверхности, не удовлетворяющей требованиям чертежа по чистоте. Одновременно по этим же причинам происходит неточная по размеру обработка критического сечения.

2. Особое внимание следует уделять выбору базирующей поверхности при обточке конуса под обтекатель. Часто такой поверхностью служит раструб сопла. Так как резец на станке, движущийся по копиру, занимает строго определенное положение относительно оси изделия (рис. 210), то осевое перемещение изделия, которое может произойти из-за разности диаметра сопла D_c, вызовет изменение диаметра крышки-сопла под конус обтекателя.

3. При фрезеровке резьбы часты случаи рванин, надрывов, нечистой поверхности резьбы из-за недостаточного качества фрез, их несвоевременной или неправильной заточки. Эти же причины могут привести к неправильным размерам резьбы. В случае неправильного вращения шпинделя или недостаточно прочного закрепления детали может произойти разрез резьбы или срыв ее.

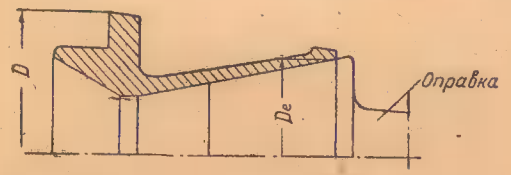


Рис. 210. Схема обточки сопла под обтекатель.

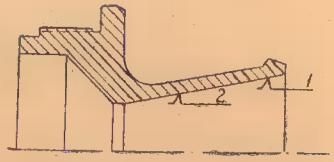


Рис. 211. Схема зажима сопла при обработке.

Брак резьбы обнаруживается не только при осмотре ее ОТК или же при промере калибрами, но также и при гидравлических испытаниях крышки-сопла, что сопровождается иногда срывом резьбы.

4. Крышка-сопло — деталь тонкостенная, проходящая термообработку, после чего она может иметь те же дефекты, что и реактивная камора (см. § 37), которые трудно вывести при механической обработке сопла.

Перенос базовых поверхностей при механической обработке крышки-сопла из 1-его положения во 2-е (рис. 211) позволяет получить более правильные геометрические формы отдельных элементов крышки-сопла.

При изготовлении турбинки наиболее трудоемкой и ответственной операцией является изготовление сопел, которые должны иметь точный (примерно по 3 классу) диаметр критического сечения, достаточную чистоту поверхности критического сечения сопла и раструба; кроме того, должно быть выдержано точное положение сопел на турбинке.

Для точной координации положения сопел их обработка должна вестись на точном поворотном кондукторе. В целях сокращения времени обработки желательна одновременная обработка нескольких отверстий специальной многошпиндельной головкой. Так как оси отдельных шпинделей занимают в пространстве различное положение, а многошпиндельная головка имеет сравнительно малые размеры, определяемые размером обрабатываемой турбинки, будет затруднительно спроектировать головку с числом шпинделей более 4—6. Число сопел на турбинке надо выбирать таким образом, чтобы оно было кратно числу шпинделей.

Выполнение точных сопловых отверстий с высокой степенью чистоты поверхности может быть произведено последовательным применением трех инструментов: сверла, черновой развертки, чистовой развертки. При этом нужно следить за тем, чтобы развертки хорошо были заточены, а для изготовления отверстий 2 класса точности следует применять доведенные развертки. Окончательное чистовое развертывание должно производиться плавающей разверткой, при достаточном охлаждении, гарантирующем отсутствие налипания стружки на лезвия развертки. Операции обработки сопловых отверстий в технологическом процессе производства турбинки являются заключительными; обработка критического сечения сопла должна вестись после обработки входного и выходного конусов во избежание появления заусенцев на критическом сечении сопла.

§ 41. ДИАФРАГМА

1. Общие положения

Диафрагма реактивного снаряда в большинстве случаев выполняется в виде решетки той или иной конфигурации и имеет следующие назначения:

1. Предотвращать закупорку сопла пороховым зарядом, так как при этом может произойти разрыв реактивной каморы.

2. Предотвращать возможность выброса недогоревших частиц порохового заряда, так как в этом случае уменьшается скорость реактивного снаряда, увеличивается разброс скоростей, что влечет за собой ухудшение кучности. Для выполнения этого требования отверстия в диафрагме должны быть меньше размера пороховой шашки в момент ее догорания. (В частности для круглой шашки этот размер равен $\frac{D+d}{2}$). Это требование наиболее трудно выполнимо при тонкосводных порохах (например при рулонном порохе, телескопическом и т. д.).

3. Фиксировать пороховой реактивный заряд в определенном положении, чтобы он не имел излишних перемещений при транспортировке и в служебном обращении. В некоторых случаях при помощи выступов на диафрагме пороховой заряд ограничивается (центруется) от перемещений даже во время горения заряда.

4. Диафрагма несколько отдаляет пороховой заряд от критического сечения сопла, чем достигается более полное сгорание и выравнивание струи пороховых газов.

Конструкции существующих диафрагм чрезвычайно разнообразны; форма и размеры диафрагмы зависят от ряда факторов, из которых главнейшими являются:

а) форма порохового заряда;

б) время горения порохового заряда;

в) размеры каморы;

г) материал и метод изготовления диафрагмы;

д) величина параметра заряжания $\varkappa$, которая, как известно, определяет скорость движения пороховых газов. Непосредственные опыты показывают, что в том случае, когда $\varkappa_{кан}$ больше $\varkappa_{нар}$, наиболее интенсивное оплавление и разрушение происходит в том месте диафрагмы, которое расположено за каналом пороховой шашки.

Каких-либо специальных аналитических расчетов для определения размеров диафрагм не существует[1], но так как диафрагма расположена и работает в области наибольших температур и через нее проходит вся масса раскаленных пороховых газов, то конструктор обязан всегда спроектировать диафрагму такой, чтобы она была достаточно жаростойкой и обладала достаточной жесткостью. Эти два требования должны особенно учитываться в случае увеличенного времени горения при применении одношашечных зарядов. Опыт показывает, что диафрагма, успешно работающая в каморе при многошашечном заряде, при применении в той же каморе одношашечного заряда с увеличенным временем горения теряет свою жесткость, начинает прогибаться, затем разрушается и обломки диафрагмы выбрасываются через сопло.

Помимо разрушения всей диафрагмы, всегда имеется опасность оплавления острых кромок диафрагмы; расплавленный металл распыляется быстрой струей газов, выносится в критическое сечение сопла, наслаивается в нем и приводит к большому разбросу давлений. Для предупреждения оплавления диафрагмы следует выбирать жаростойкий материал, а именно:

а) жаростойкую сталь (например Х18, Х28, Х34), обладающую достаточными литейными свойствами для литых диафрагм;

б) малоуглеродистую сталь ($C \approx 0{,}30\%$) для сборных и сварных диафрагм;

в) орудийную сталь марок ОХМ и ОХН1М;

г) керамику для диафрагм небольшого размера.

При проектировании диафрагм необходимо руководствоваться следующим:

1. Площадь свободного прохода диафрагмы желательно иметь возможно большей, но всегда не менее трехкратной площади критического сечения сопла. В существующих конструкциях диафрагм можно в среднем считать

$$\sigma_{диафр} = (3 \div 5)\,\sigma_k.$$

Увеличение площади свободного прохода диафрагмы приводит к некоторому уменьшению давления в реактивной каморе. Однако

[1] Некоторые конструкторы определяют прочные размеры диафрагмы, как балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой $0{,}05\,P_{max}$. Ввиду большого числа факторов, влияющих на прочность диафрагмы, обоснованность этого способа является весьма сомнительной.

не следует забывать того, что увеличение площади свободного прохода диафрагмы связано с уменьшением ее жесткости.

2. Отверстия в диафрагме должны быть расположены симметрично во избежание образования газовой струи неравномерной плотности (газодинамический эксцентриситет).

3. Ребра (или поверхность) диафрагмы не должны закрывать внутреннего канала шашки, для чего в диафрагмах иногда предусматриваются специальные выемки.

4. Торец шашки не должен закрывать отверстий диафрагмы, для этого предусматриваются специальные устройства, поддерживающие шашку на некотором расстоянии (3—10 мм) от поверхности диафрагмы.

Рассмотрим конструкции различных типов диафрагм.

2. Диафрагмы для одношашечных зарядов

Диафрагмы для однощашечных зарядов отличаются наибольшей простотой, должны обладать максимальной жесткостью и являются наиболее простыми в производстве.

На рис. 212 изображена колосниковая диафрагма камертонного типа. Диафрагма в виде крестовины изображена на рис. 213; диафрагма (рис. 214) сварена из двух колец (1) и (2) и трех ребер (3) и имеет штифты (4), входящие в отверстия пороховой шашки и центрующие ее (частично даже

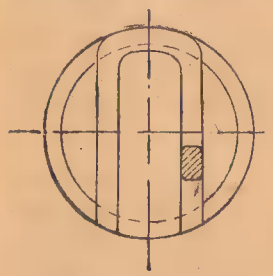


Рис. 212. Диафрагма для одношашечного заряда.

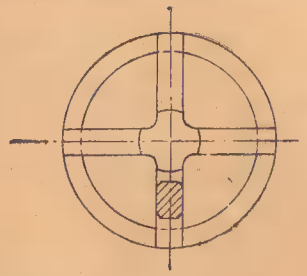


Рис. 213. Диафрагма для одношашечного заряда.

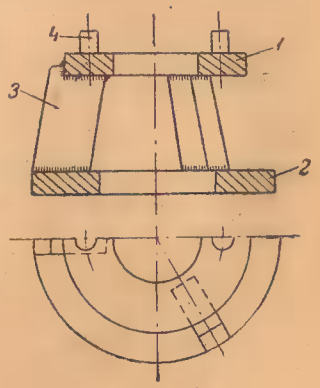


Рис. 214. Диафрагма к снаряду „Тайфун"

во время горения). В этом случае целесообразно эти отверстия в шашке заполнить инертной массой, чтобы они не разгорались и не ухудшали центрования. Подобные центрующие штифты целесообразно устанавливать с обеих сторон шашки.

Однако следует указать, что постановка штифтов может повлечь скалывание пороха при транспортировке, если толщина стенок пороха в месте гнезд под штифты невелика.

Ввиду того, что опорная поверхность изображенных на рис. 212 и 213 диафрагм мала, а масса шашки значительна, следует проверить получающееся удельное давление между пороховой шашкой и диафрагмой при выстреле от сил инерции.

3. Диафрагмы для многошашечных зарядов

Диафрагмы для многошашечных зарядов отличаются большей сложностью конфигурации и из-за меньшего времени горения порохового заряда они могут быть менее жесткими.

На рис. 215 изображена диафрагма снаряда М-8, отличающаяся простотой конструкции и технологии изготовления. К диску (1), имеющему 7 отверстий, приклепываются штифты (2), выступающие

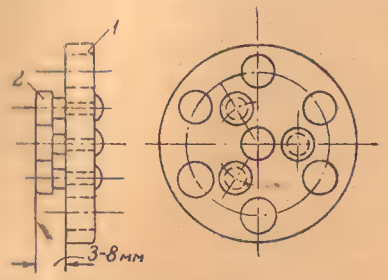


Рис. 215. Диафрагма снаряда М-8.

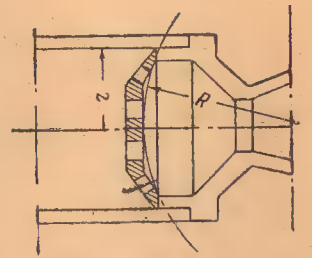


Рис. 216. Арочная диафрагма.

над поверхностью диафрагмы на 3—8 мм. Назначение этих штифтов — предотвращать закрывание отверстий в диафрагме, так как опыты показывают, что при отсутствии штифтов, в зависимости от положения многошашечного заряда, на диафрагме получаются выскоки давления.

Произведенными опытами показано, что применение штатных диафрагм от снаряда М-8 для зарядов с увеличенным временем горения, а в особенности для одношашечных зарядов, не дает требуемой жесткости и приводит к прогибу диафрагмы. Поэтому в этих случаях необходимо либо увеличение толщины стенок диафрагмы, либо изменение ее конструкции для увеличения жесткости. Такая измененная арочная диафрагма изображена на рис. 216. Если здесь применить те же аналогии, что и для сферических донъев, то можно полагать, что устанавливая не очень малую кривизну диафрагмы (порядка $\frac{r}{R} = \frac{1}{4} \div \frac{1}{5}$), можно получить увеличение жесткости диафрагмы в 2—3 раза. Можно также рекомендовать, если это не создаст дополнительных технологических трудностей, конструировать диафрагму по форме балки равного сопротивления изгибу.

На рис. 217 и 218 изображены так называемые колосниковые диафрагмы. Конструкция диафрагмы, изображенной на рис. 218, широко применяется в отечественных снарядах М-13 и М-31. От-

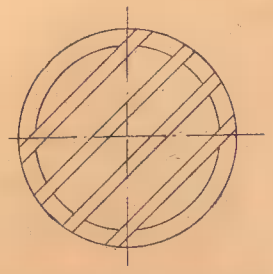


Рис. 217. Колосниковая диафрагма.

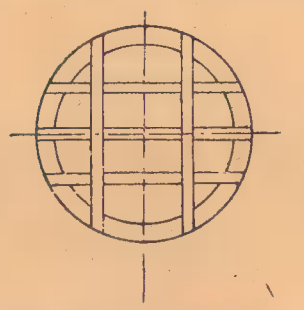


Рис. 218. Колосниковая диафрагма.

дельный колосник (рис. 219) вырубается из полосовой стали (малоуглеродистая сталь Ст-3), затем колосники либо собираются в крышке-сопле (снаряд М-13), либо свариваются в виде решетки (снаряд М-31). После сборки колосников диафрагма протачивается по диаметру. Так как в собранном снаряде колосники диафрагмы должны сидеть плотно, без качки, необходимо, чтобы ширина паза a в колоснике (рис. 219) точно соответствовала толщине колосника b. А так как полосовая сталь согласно существующим нормам имеет значительные колебания в размере b, то для обеспечения плотной по-

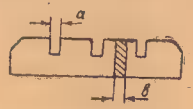


Рис. 219. Штампованный колосник.

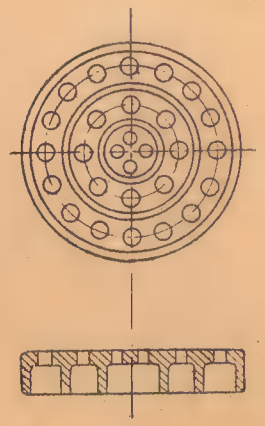


Рис. 220. Круглый колосник.

садки одного колосника в другой, практически приходится иметь набор (3 — 4 комплекта) штампов или фрез для обработки паза в колоснике и, сортируя полученную полосу по толщине, применять тот или иной комплект штампов.

Видоизменением колосниковой диафрагмы, описанной выше, является колосниковая диафрагма с круглыми отверстиями и круг-

лыми колосниками, изображенная на рис. 220. Изготовление такой диафрагмы наиболее рационально путем отливки.

На рис. 221 изображен еще один тип литой диафрагмы, применяющейся в немецких снарядах.

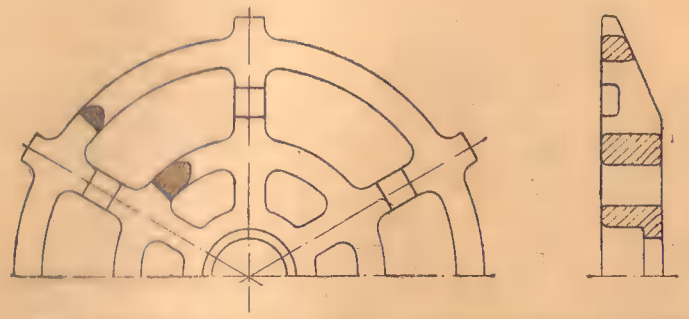


Рис. 221. Диафрагма немецкого турбореактивного снаряда.

Для изготовления обоих типов диафрагм можно рекомендовать названные выше жаростойкие стали, либо высококремнистые (Si до 12%) чугуны.

4. Диафрагмы для тонкосводных порохов

Особенностями, определяющими конструкцию диафрагм для тонкосводных порохов, являются:

1. Бóльшая величина поверхности порохового заряда (при всех прочих равных условиях), а поэтому бóльшее количество истекающих пороховых газов в единицу времени и, следовательно, бóльшая требуемая площадь свободного прохода диафрагмы.

2. Незначительные размеры элементов порохового заряда. Так как диафрагма должна обеспечить предохранение от выброса недогоревших частиц пороха, то размер отверстия в диафрагме должен быть небольшим. В соединении с первым условием — большой площадью свободного прохода, это условие требует большого числа отверстий в диафрагме, что, как правило, усложняет конструкцию и технологию изготовления ее.

3. Относительно малое время горения порохового заряда, исчисляемое, как правило, сотыми долями секунды, позволяет иметь несколько меньшую жесткость диафрагмы.

На рис. 222 изображена лепестковая диафрагма, получившая довольно широкое распространение в реактивных противотанковых снарядах. Такая конструкция достаточно проста в производстве, так как кольца диафрагмы нарезаются из труб различных диаметров, а отдельные лепестки диафрагмы штампуются. Затем лепестки и кольца после сборки свариваются.

Устройство, состоящее из двух дисков с прорезями, через которые натянуты проволочки, на которых крепятся пороховые шашки (рис. 223), может быть также использовано в качестве диафрагмы для тонкосводного порохового заряда. Достоинство такой конструкции в частичном центровании шашки во время горения порохового заряда, недостаток ее — большая сложность. В качестве диафрагмы для тонкосводных порохов можно также применять плетеные проволочные сетки (применяемые для изготовления бытовых приборов), натянутые на каркас.

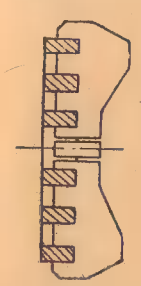
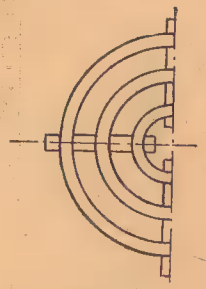


Рис. 222. Лепестковая диафрагма.



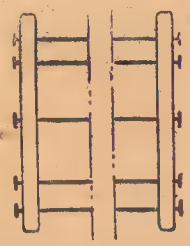


Рис. 223. Диафрагма из дисков с натянутой проволокой.

Точность изготовления диафрагм, за исключением посадочных мест, обычно невелика и лежит в пределах 7—9 классов. Посадочные места (например, для посадки диафрагмы в реактивной каморе) изготавливаются по 4—5 классам точности.

§ 42. НАПРАВЛЯЮЩИЕ ШТИФТЫ

Направляющие штифты применяются в конструкциях оперенных реактивных снарядов при стрельбе как из прямолинейных, так и из винтовых направляющих.

В зависимости от типа направляющих назначение штифтов может быть различным. При прямолинейной направляющей штифт служит опорной поверхностью для реактивного снаряда при движении его по нижней направляющей; при винтовой направляющей придает снаряду вращательное движение.

Кроме того, при обоих типах направляющих штифты используются для:

а) крепления реактивного снаряда по-походному, для чего направляющие штифты входят в соответствующие пазы фрикционных, либо пружинных стопоров.

б) удержания заряженного снаряда в начальном положении для достижения силы (реактивной) форсирования.

Направляющие штифты являются базой для установки реактивного снаряда на направляющей в определенном положении; это необходимо по той причине, что ряд деталей реактивного снаряда (стабилизатор, зажигательные устройства) должны быть координированы относительно направляющей в строго определенном положении.

В первых конструкциях реактивных снарядов направляющие изготавливались в виде бугелей (рис. 224), поэтому на снаряде необходимо было разместить две пары ведущих штифтов. Эти штифты изготовлялись из бронзы, так как предполагали, что при значительной скорости движения снаряда по направляющей ($V_{дульн} = 70 - 80$ м/сек) возможно заедание штифтов на направляющей.

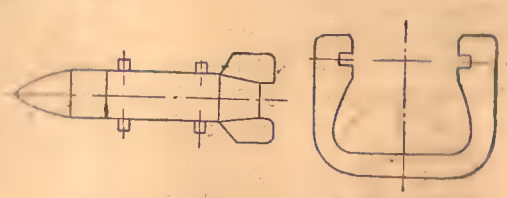


Рис. 224. Направляющий бугель.

Так как направляющая в виде бугелей приводит к очень громоздкой пусковой установке, то после перехода к направляющим типа БМ-8-48 и БМ-13-16, вместо направляющих штифтов, стали применять специальную скобу, привариваемую электросваркой к реактивной каморе (рис. 225). Практически это крепление оказалось недостаточно надежным, были случаи отрыва скобы.

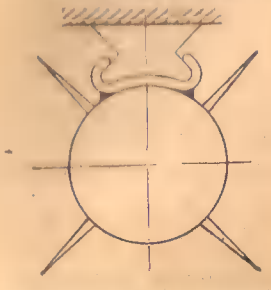


Рис. 225. Направляющие реактивного снаряда.

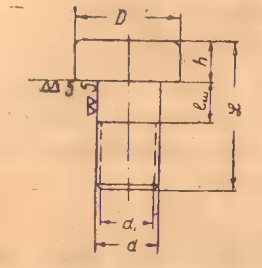


Рис. 226. Форма неисправляющего штифта.

Другим недостатком этой конструкции является то, что при сварке скобы происходит нежелательный отпуск термообработанной каморы.

Наилучшим вариантом, оправдавшим себя на практике, оказался направляющий штифт со шляпкой (рис. 226), получивший широкое распространение в конструкциях отечественных снарядов.

Единственным недостатком конструкции такого направляющего штифта является необходимость иметь толстую стенку в той части реактивной каморы, куда завертывается штифт для обеспечения достаточной прочности и герметичности резьбового соединения.

Нижняя поверхность шляпки и диаметр штифта d, во избежание заеданий при движении по направляющей, должны иметь чистую поверхность (класс чистоты обработки примерно ▽▽4—▽▽5).

Наиболее точными размерами штифта являются размер $l_ш$ (длина шейки), так как он определяет правильное положение

снаряда на направляющей и размер резьбы, который предупреждает прорыв пороховых газов через резьбу. На размер $l_ш$ дается допуск 4 — 5 класса точности, который контролируется в сборке специальными калибрами. Следует отметить, что номинал размера $l_ш$ в сборке и отдельно на штифте различный, причем размер $l_ш$ на штифте на 0,15 — 0,2 мм больше, чем в сборке. После установки штифта и его предварительной затяжки резьба несколько сминается и размер $l_ш$ в сборке приобретает необходимую величину.

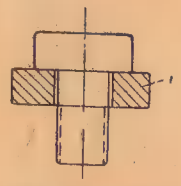


Рис. 227. Схема нарезки направляющего штифта.

Ранее для предупреждения прорыва пороховых газов предусматривалось облуживание штифта. Впоследствии от этого отказались, так как при облуженной резьбе возможны пропуски брака по размерам резьбы. Направляющий штифт является по своей конфигурации типичной деталью, которую выгоднее и производительнее всего изготавливать на автомате. Однако наличие двух точных размеров — длины шейки и диаметра резьбы, точность которых не может быть получена на автомате, приводит к необходимости производить на автомате только предварительную нарезку резьбы. Для окончательной нарезки на направляющий штифт одевается дистанционное кольцо—1 (рис. 227) и нарезка производится плашкой, не имеющей заборного конуса, в упор до кольца (1). Конструкция такой плашки с чрезвычайно тонкой ниткой при выходе резьбы обеспечивает нужный размер $l_ш$, но при этом получается большой расход плашек, так как тонкая сходящая нитка резьбы плашки часто выкрашивается.

При нарезании резьбы на автомате, на первых нитках штифта (из-за недостаточного направления плашки) получается ее большое биение и первые нитки резьбы могут быть забракованы по непроходному калибру. Чтобы избежать этого при обточке штифта, делают его немного длиннее чертежного размера, а затем с торца срезается 1—1,5 нитки.

Материалом для изготовления направляющих штифтов служит Ст-40—Ст-50.

Прочными размерами штифта, подлежащими расчету, являются диаметр и длина резьбы, диаметр и высота шляпки.

На резьбу штифта действует сила

$$P = P_1 + P_2,$$

где:

P_1 — сила давления пороховых газов на штифт $\frac{\pi d^2}{4}\varphi p_{max}$,

P_2 — сила, зависящая от веса снаряда KQ, где Q — вес снаряда (полный), так как при сходе снаряда с направляющей снаряд

может висеть на одном штифте. Коэффициент K учитывает динамическую нагрузку либо при движении снаряда при выстреле по неровной направляющей, либо при транспортировке снаряда.

Для наземных установок значение $K = 6 \div 8$.

Найденная сила P действует на резьбу штифта, а так как геометрические размеры резьбы выбираются таким образом, чтобы соблюдалась равнопрочность с телом болта, то по этой же силе можно определить диаметр штифта d_1. Учитывая при этом, что рассчитываемое резьбовое соединение предварительно затянуто, будем иметь

$$(1{,}2 - 1{,}3)P = \frac{\pi d_1^2}{4} R_p,$$

где допустимое напряжение на разрыв $R_p = 15 - 20$ кг/мм².

По величине d_1 определяется наружный диаметр штифта d и длина резьбы, которая должна быть не менее $(0{,}7 - 0{,}8)d$.

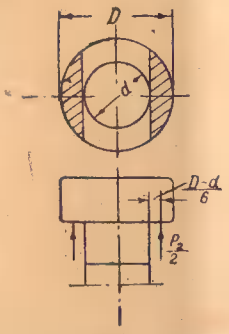


Рис. 228. Схема расчета направляющего штифта.

При определении диаметра головки направляющего штифта можно исходить из того условия, чтобы давление между головкой и направляющей при движении снаряда не превышало допустимого.

При этом на штифт действует сила P_2. Площадь смятия (рис. 228) примерно равна

$$F_{см} \approx 2\left(\frac{D-d}{2}\right)\frac{D}{2} = (D-d)\frac{D}{2}.$$

При этом должно быть выдержано условие

$$F_{см} R_{см} \geqslant P_2.$$

Допустимое давление $R_{см} = 3 - 4$ кг/мм² для стали по стали.

Высота головки определяется из условия достаточной ее прочности на изгиб.

При этом, принимая точку приложения силы $\frac{P_2}{2}$ равной $\frac{D-d}{6}$ (рис. 228), получим следующую расчетную формулу

$$h = \sqrt{\frac{(D-d)P_2}{2DR_{изг}}}.$$

В существующих конструкциях $R_{изг} = 1 - 2$ кг/мм².

Размеры направляющего штифта, вычисленные по приведенным формулам, иногда получаются небольшими. В таком случае эти размеры можно назначить конструктивно.

Размеры диаметра штифта меньше 6 мм применять не следует, так как при затяжке штифтов малого диаметра усилия руки рабочего достаточно, чтобы сорвать резьбу.

Для уменьшения опасности прорыва пороховых газов шаг резьбы у направляющих штифтов выбирается не более 0,5—1,0 мм.

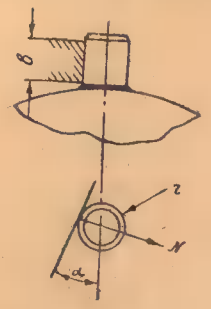


Рис. 229. Схема расчета штифта для проворачивания снаряда.

Штифты для ведения снаряда по винтовой направляющей (рис. 229) нагружены поперечной силой N, определяемой формулой

$$N = \frac{4CP \cdot \operatorname{tg}\alpha}{\varphi m D_н^2}, \qquad (39)$$

где:

C — полярный момент инерции снаряда,
P — реактивная сила,
α — угол наклона ведущего стержня винтовой направляющей,
φ — коэффициент, учитывающий сопротивление движению снаряда по направляющим, равный 1,05,
m — масса снаряда,
$D_н$ — калибр снаряда.

Необходимо проверить прочность штифта на изгиб и срез и определить контактное удельное давление смятия между штифтом и направляющей.

Для стальной направляющей и стального штифта максимальное контактное удельное давление смятия

$$\sigma_{d.max} = 59{,}2\sqrt{\frac{N}{lr}} \text{ кг/мм}^2, \qquad (40)$$

где:

N — нормальная сила в килограммах,
r — радиус штифта в миллиметрах,
l — длина соприкосновения штифта с направляющей в миллиметрах.

Величина допускаемого контактного удельного давления смятия для стали равна 70—75 кг/мм².

§ 43. СТОПОРНЫЕ ВИНТЫ

Стопорные винты применяются для стопорения взрывателя, реактивной и боевой частей, крышки-сопла, турбинки и других деталей.

При приемке снаряда военпред обращает внимание на обязательное наличие стопоров, на то, чтобы стопоры не выходили за габариты снаряда, чтобы стопоры имели прорези, чтобы их можно было при необходимости вывернуть.

Стопоры ставятся на суриковой замазке.

Материал стопора Ст. 35-40.

Изготовляются стопоры на автоматах; резьба либо нарезается на автомате, либо накатывается.

§ 44. СТАБИЛИЗАТОР. ОПЕРЕНИЕ

Известно, что устойчивость реактивного снаряда на полете может быть достигнута либо приданием снаряду вращения, либо постановкой на снаряде оперения. Расчет устойчивости турбореактивных снарядов, базирующийся на зависимостях, установленных для артиллерийских снарядов, достаточно полно рассмотрен в курсе теории пороховых реактивных снарядов. Менее известны методы определения устойчивости оперенных реактивных снарядов. Ниже будут приведены окончательные расчетные формулы и выводы, полученные профессором Франклем Ф. И.[1] для расчета оперенных реактивных снарядов.

1. Устойчивость оперенных снарядов на полете

Реактивный снаряд летит устойчиво в том случае, если центр давления будет лежать сзади центра тяжести снаряда. Положение центра давления сил сопротивления воздуха зависит от распределения давления на корпусе и стабилизирующих плоскостях оперенного снаряда. В свою очередь, распределение давления будет различным для дозвуковых скоростей и сверхзвуковых скоростей. При этом, для скоростей, меньших скорости звука, распределение давления почти не зависит от числа М и получается ясно выраженная концентрация давления у кромок оперения. При сверхзвуковой скорости получается более равномерное распределение нормальных сил по всей поверхности оперения, причем коэффициент нормальных сил в большой степени зависит от числа М. Поэтому расчетные зависимости должны быть составлены для двух случаев, а именно:

а) для дозвуковых скоростей,
б) для сверхзвуковых скоростей.

Устойчивость на полете снаряда, имеющего сверхзвуковую скорость, должа быть проверена в обоих диапазонах.

[1] Ф. И. Франкль, Приближенный аэродинамический расчет оперения снарядов, Известия Артакадемии, т. 50.

Ф. И. Франкль, Карпович и Чернова, Аэродинамический расчет оперенных снарядов при сверхзвуковых скоростях, НИР Артакадемии.

А. Расчет устойчивости оперенного снаряда при дозвуковых скоростях

Расстояние от вершины снаряда до центра давления может быть определено по формуле.

$$L_c = L + (\sigma - 0{,}75)\cdot b - \frac{\frac{\pi}{90}\left[W + f\cdot b(\sigma - 0{,}75)\right]}{F\left(\frac{\widehat{C}_y}{\alpha^\circ} + \frac{\pi}{90}\frac{f}{F}\right)}, \qquad (41)$$

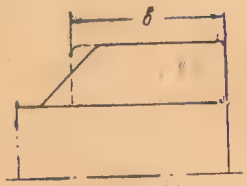


Рис. 230. Расчет средней ширины лопасти оперения.

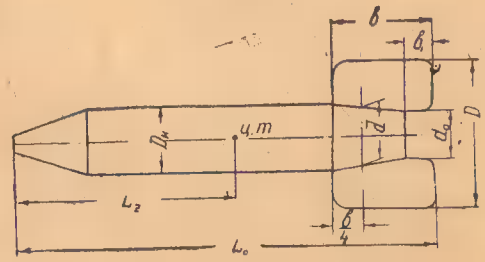


Рис. 231, Схема расчета оперения при дозвуковых скоростях.

где:

L_c — расстояние от вершины снаряда до центра давления;

L — длина снаряда без оперения;

b — средняя ширина оперения; если лопасть не имеет прямоугольной формы, для подсчета величины b заменяем ее эквивалентным прямоугольником (рис. 230);

σ — отношение $\frac{b_1}{b}$ (рис. 231);

W — объем снаряда;

f — площадь среза сопла;

$F = \frac{\pi}{4} D_н^2$ — миделевое сечение снаряда;

$\frac{\widehat{C}_y}{\alpha^\circ}$ — коэффициент подъемной силы на 1 градус, отнесенный к площади миделевого сечения и определяемый по формуле (42).

$$\frac{\widehat{C}_y}{\alpha^\circ} = 0{,}107\cdot\frac{bD}{D_н^2}\cdot\frac{\left(1+\frac{\bar{d}}{D}\right)\left(1-\frac{\bar{d}^2}{D^2}\right)}{1+0{,}8\left(1+\frac{2}{n}\right)\left(1+\frac{\bar{d}}{D}\right)\frac{b}{D}}, \qquad (42)$$

где:

D — размах оперения,

$D_н$ — калибр реактивного снаряда,

d — диаметр сечения снаряда на расстоянии 0,25 b от передней кромки лопасти,

$2n$ — число лопастей оперения.

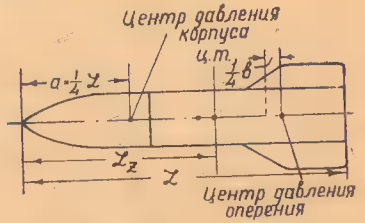


Рис. 232. Схема оперенного снаряда

Для устойчивости снаряда на полете необходимо, чтобы величина L_c, найденная по формуле (41), была бы больше величины L_Z — расстояния от центра тяжести до носа снаряда.

Однако, как показывают конкретные расчеты, условие $L_c > L_Z$ будет выполняться в громадном большинстве существующих реактивных снарядов. Например, если размеры лопастей снаряда М-8 уменьшить даже в 10 раз, и то условие устойчивости выполняется. Однако уменьшение оперения вызывает ухудшение кучности снаряда. Для подсчета кучности необходимо знать коэффициент стабилизирующего момента c'_m. Порядок определения этого коэффициента следующий:

1. Определяется коэффициент подъемной силы C'_y, отнесенный к углу атаки в 1°, и к единице площади оперения

$$C'_y = \frac{\frac{nc}{2}\left(1-\frac{\bar{d}^2}{D^2}\right)\left(1+\frac{\bar{d}}{D}\right)}{1+\frac{nc}{4\pi}\left(1+\frac{2}{n}\right)\frac{b}{D}\left(1+\frac{\bar{d}}{D}\right)}, \qquad (43)$$

где $nc = 9{,}6$.

2. Подъемная сила, создаваемая оперением

$$P_y = \frac{\rho V^2}{2} bDC'_y\alpha.$$

3. Величина стабилизирующего момента оперения относительно центра тяжести снаряда (рис. 232)

$$M_{ст} = P_y l_ц,$$

причем $l_ц$ — расстояние от центра тяжести снаряда до центра давления, расположенного на 1/4 длины оперения от условной передней кромки крыла.

4. Опрокидывающий момент, создаваемый корпусом снаряда без оперения, относительно вершины снаряда определяется по формуле

$$M_{\text{опр}} = \rho V^2 \alpha (W - fL),$$

где L — длина снаряда без оперения.

5. Как известно из аэродинамики, точка приложения подъемной силы пластины, которой мы уподобляем корпус снаряда, находится на расстоянии $a = \frac{1}{4} L$. Следовательно, подъемная сила корпуса относительно его центра тяжести даст момент

$$M_{\text{ц.т.}} = \frac{M_{\text{опр}}}{a} (L_Z - a),$$

причем расстояние

$$a = \frac{L}{4}.$$

6. Суммарный стабилизирующий момент оперения и корпуса

$$M'_{\text{ст}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{ц.т}} = \rho V^2 b D C'_y \alpha l_{\text{ц}} + \rho V^2 \alpha (W - Lf) \cdot \frac{L_Z - a}{a}. \quad (44)$$

7. Но величина стабилизррующего момента, как известно, определяется выражением

$$M''_{\text{ст}} = \rho \frac{V^2}{2} S L c'_m \alpha; \quad (45)$$

где

$$S = \frac{\pi D_{\text{н}}^2}{4}.$$

8. Приравнивая выражения (44) и (45) и сокращая на величину $\rho V^2 \alpha$, можно определить величину c'_m.

Анализ приведенных и некоторых других зависимостей, установленных для расчета оперения, позволяет сделать следующие практические выводы:

1. Подъемная сила многолопастного стабилизатора слабо растет с увеличением числа лопастей и стремится к конечному пределу. Нет смысла применять более 12—16 лопастей.

2. Если сравнивать действие четырехлопастного стабилизатора и чисто кольцевого одинакового удлинения, то преимущество принадлежит последнему, если стабилизатор установлен на некотором расстоянии от корпуса снаряда; если стабилизатор установлен на корпусе снаряда, то при малом зазоре между корпусом и кольцом

эффективность последнего сильно падает и кольцевой стабилизатор может оказаться хуже лопастного.

3. Если насадить кольцо на лопастной стабилизатор, подъемная сила последнего сильно возрастет; однако от числа лопастей подъемная сила в этом случае не зависит, поэтому можно ограничиться четырехлопастным стабилизатором.

4. Вынос задней кромки лопастей за срез сопла при заданной площади лопастей уменьшает подъемную силу оперения.

5. Для получения наименьшего профильного сопротивления желательно заострять передние кромки лопастей. Угол стреловидности (угол между передней кромкой лопасти и осью снаряда) можно выбирать около 30°. При меньшем угле стреловидности сильно уменьшается поверхность оперения. При большом угле стреловидности значительно увеличивается сопротивление.

Пример: Рассчитаем аэродинамические характеристики раскрывающегося оперения американского снаряда М-8, калибра 4,5″ (рис. 50). Размеры отдельных элементов снаряда из-за отсутствия чертежей определены нами приблизительно.

Основные данные этого снаряда следующие:

Диаметр оперения — $D = 300$ мм

Диаметр среза сопла — $d_0 = 70$ мм

Средняя длина (ширина) оперения — $b = 20$ мм

Диаметр сечения снаряда на расстоянии 0,25 от передней кромки лопасти — $\bar{d} = 65$ мм

Число лопастей оперения — $2n = 6$

Калибр снаряда — $D_{\text{н}} = 114$ мм

Длина снаряда — $L = 840$ мм

Объем снаряда — $W = 7200000$ мм^3

Расстояние центра тяжести от носа снаряда $L_Z \approx 390$ мм.

Оперение за срез сопла не выступает ($\sigma = 0$) и, следовательно, длина снаряда с оперением равняется длине корпуса без оперения.

Величины отдельных безразмерных параметров будут:

$$\frac{b}{D} = 0{,}067; \quad \frac{\bar{d}}{D} = 0{,}217; \quad \frac{d_0}{D} = 0{,}233;$$

$$\frac{f}{F} = \left(\frac{d_0}{D_{\text{н}}}\right)^2 = 0{,}375; \quad \frac{bD}{D_{\text{н}}^2} = 0{,}462; \quad \frac{W}{F} = 705.$$

Коэффициент подъемной силы на 1 градус, отнесенный к площади миделевого сечения, определяется по формуле (42).

$$\frac{\widehat{C_y}}{\alpha^\circ} = 0{,}107\,\frac{bD}{D_н^2}\cdot\frac{\left[1-\left(\frac{\bar{d}}{D}\right)^2\right]\left(1+\frac{\bar{d}}{D}\right)}{1+0{,}8\left(1+\frac{2}{n}\right)\left(1+\frac{\bar{d}}{D}\right)\cdot\frac{b}{D}} = 0{,}0518.$$

Расстояние от носа снаряда до центра давления (при условии $\sigma = 0$) определяется

$$L_c = L - 0{,}75\,b - \frac{\frac{\pi}{90}\left(\frac{W}{F}-\frac{f}{F}\,0{,}75\,b\right)}{\frac{\widehat{C_y}}{\alpha^\circ}+\frac{\pi}{90}\,\frac{f}{F}} = 445 \text{ мм}.$$

И так как $L_c > L_Z$ (445 > 390), следовательно, снаряд будет устойчив на полете.

Определим теперь коэффициент стабилизирующего момента.

1. Коэффициент подъемной силы, отнесенный к углу атаки 1° ■ к единице площади оперения, определяем по формуле

$$C_y' = \frac{\frac{nc}{2}\left(1-\frac{\bar{d}^2}{D^2}\right)\left(1+\frac{\bar{d}}{D}\right)}{1+\frac{nc}{4\pi}\left(1+\frac{2}{n}\right)\frac{b}{D}\left(1+\frac{\bar{d}}{D}\right)} = 5{,}04.$$

2. Подъемная сила, создаваемая оперением

$$P_y = \rho\,\frac{V^2}{2}\cdot bD\alpha^\circ C_y' = 0{,}03024\,\rho\,\frac{V^2}{2}\cdot\alpha^\circ.$$

3. Стабилизирующий момент оперения

$$M_{ст} = P_y l_ц,$$

где $l_ц$ — расстояние от центра тяжести снаряда до центра давления оперения, в нашем случае равное 0,435 м.

$$M_{ст} = 0{,}03024\cdot 0{,}435\,\frac{\rho V^2}{2}\,\alpha^\circ = 0{,}01288\,\frac{\rho V^2}{2}\,\alpha^\circ.$$

4. Опрокидывающий момент, создаваемый корпусом снаряда без оперения относительно вершины снаряда, определяется по формуле

$$M'_{опр} = \rho V^2 (W - fL)\cdot\alpha^\circ,$$

где

$$W = 0{,}0072 \text{ м}^3;\quad f = \frac{\pi d^2}{4} = 0{,}00385 \text{ м}^2;\quad L = 0{,}84 \text{ м}.$$

$$M'_{опр} = \frac{\rho V^2}{2}\,\alpha^\circ 0{,}0017.$$

5. Величина опрокидывающего момента относительно центра тяжести снаряда

$$M_{опр} = M'_{опр}\,\frac{4a}{L_Z},$$

где

$$a = L_Z - \frac{L}{4} = 390 - \frac{840}{4} = 180,$$

следовательно,

$$M_{опр} = -\frac{\rho V^2}{2}\cdot\alpha^\circ\cdot 0{,}00687.$$

6. Суммарный стабилизирующий момент

$$M = M_{ст} - M_{опр} = \frac{\rho V^2}{2}\,\alpha^\circ\cdot 0{,}006.$$

Но, с другой стороны,

$$M = \frac{\rho V^2}{2}\cdot SLc_m'\alpha^\circ.$$

Следовательно,

$$c_m' = \frac{0{,}006}{SL} = \frac{0{,}006\cdot 4}{3{,}14\cdot 0{,}114^2\cdot 0{,}84} = 0{,}7.$$

Итак, коэффициент стабилизирующего момента у раскрывающегося оперения значительно меньше, чем тот же коэффициент жесткого оперения, например, у М-8 $c_m' = 3{,}44$.

Если принять эксцентриситет у рассчитываемого снаряда 0,5 мм, то кучность, подсчитанная по соответсявующим формулам теории пороховых РС, составит $\frac{B_б}{X} \approx \frac{1}{45}$, что ■ соответствует табличным данным. В этом снаряде, несмотря на малое значение c_m', получена удовлетворительная кучность за счет быстрогорящего пороха, что, однако, влечет за собой потерю в дальности. Применение такого оперения ■ отечественном снаряде М-8 привело бы к явно неудовлетворительной кучности $\left(\frac{B_б}{X} \approx \frac{1}{15} - \frac{1}{20}\right)$.

Б. Определение устойчивости оперенного снаряда при сверхзвуковых скоростях

Для устойчивости полета оперенного снаряда при сверхзвуковых скоростях необходимо, чтобы результирующий момент, действующий на снаряд относительно его центра тяжести, был стабилизирующим. Условие устойчивости может быть записано в следующем виде:

$$M = M_к + M_{ст} + \left(l_2 - H - \frac{r_0}{\operatorname{tg}\gamma} + \delta h\right) N_{ст} > 0. \qquad (46)$$

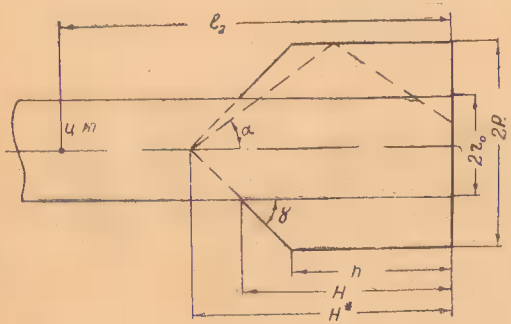


Рис. 233. Схема расчета оперения при сверхзвуковых скоростях.

Отдельные составляющие результирующего момента M определяются следующими зависимостями:

1. Опрокидывающий момент корпуса снаряда

$$M_к = \rho V^2 \delta (l_2 f - W), \qquad (47)$$

где:

l_2 — расстояние от заднего среза сопла до центра тяжести снаряда в метрах;

f — площадь заднего среза снаряда в м^2;

W — объем снаряда в м^3.

2. Стабилизирующий момент оперения, взятый относительно вершины пятиугольника (рис. 233)

$$M_{ст} = (M_{кр} - \Delta M)(1 - \varepsilon_2), \qquad (48)$$

где момент крыла

$$M_{кр} = \frac{4}{3\pi} \rho V^2 \delta R^3 \sqrt{M^2 - 1} \left\{ 2k\sigma^3 \arcsin \frac{2 - \sigma}{\sigma} + \right.$$

$$+ \frac{(k\sigma - 1)^2}{2\sqrt{k(k-1)}} \left[\arcsin \frac{k\sigma - (2k-1)}{k\sigma - 1} - \frac{\pi}{2} \right] \left(2\sigma + \frac{1}{k} \right) -$$

$$- \frac{(k\sigma + 1)^2}{2\sqrt{k(k+1)}} \left[\arcsin \frac{(2k+1) - k\sigma}{k\sigma + 1} - \frac{\pi}{2} \right] \left(2\sigma - \frac{1}{k} \right) +$$

$$\left. + 2k\sqrt{\sigma - 1} \right\}. \qquad (49)$$

Формула (49) и следующая далее формула (53) справедливы для условия $1 \leqslant \sigma \leqslant \frac{1}{k} + 2$.

Величины отдельных составляющих формулы (49) следующие:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{\sqrt{M^2 - 1}};$$

$$k = \frac{\operatorname{tg}\gamma}{\operatorname{tg}\alpha};$$

$$\sigma = \frac{H^* \cdot \operatorname{tg}\alpha}{R}.$$

Поправочный момент на часть корпуса, заключенную между крыльями стабилизатора,

$$\Delta M = \frac{4}{3\pi} \rho V^2 \delta r_0^3 \frac{(k+1)\cdot\sqrt{M^2 - 1}}{\sqrt{k^2 - 1}\,(k-1)^2} \left\{ (3 - k^2) \arcsin \frac{1}{k} + \right.$$

$$\left. + \frac{k^2 + 5}{3k^2} \sqrt{k^2 - 1} + \frac{\pi}{4} \left(k^2 - 4 - \frac{1}{k^2} \right) \right\}. \qquad (50)$$

Формула (50) и следующая далее формула (54) верны при условии

$$\sigma > \frac{r_0}{R}(k+1).$$

Величина ε_2 определяется по формуле

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{\frac{1}{3}\left(\frac{R}{r_0}\right)^3 \frac{1 - \left(\frac{r_0}{R}\right)^3}{1 - \frac{r_0}{R}} + \frac{r_0(H^2 - h^2) - \frac{l}{6}(H-h)^2 + \frac{l}{2}H^2}{H^2 \cdot \left[\frac{H}{3} + \frac{1}{2}\frac{r_0}{l}(H-h)\right]} \cdot \sqrt{M^2 - 1}}, \qquad (51)$$

причем все обозначения можно видеть на рис. 233.

3. Для определения плеча момента нормальной силы $N_{ст}$ в формуле (46) δh — длина оперения, выходящая за срез сопла.

Величина нормальной силы, действующей на стабилизатор,

$$N_{ст} = (N_{кр} - \Delta N)(1 - \varepsilon_1), \qquad (52)$$

где:

$$N_{кр} = \frac{4\rho V^2 \delta R^2}{\pi} \left\{ k\sigma^2 \arcsin \frac{2-\sigma}{\sigma} + \right.$$

$$+ \frac{(k\sigma-1)^2}{2\sqrt{k(k-1)}} \left[\arcsin \frac{k\sigma-(2k-1)}{k\sigma-1} - \frac{\pi}{2} \right] -$$

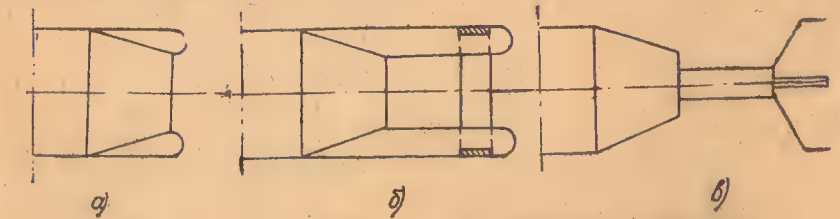
$$\left. - \frac{(k\sigma+1)^2}{2\sqrt{k(k+1)}} \left[\arcsin \frac{(2k+1)-k\sigma}{k\sigma+1} - \frac{\pi}{2} \right] \right\}; \quad (53)$$

$$\Delta N = \frac{4}{\pi} \rho V^2 \delta r_0^2 \frac{k(k+1)}{(k-1)\sqrt{k^2-1}} \left[\frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{1}{k} - \frac{\sqrt{k^2-1}}{k^2} \right]; \quad (54)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{\left(\frac{R}{r_0}\right)^2 + \frac{l(H+h)}{H^2} \cdot \sqrt{M^2-1}}. \quad (55)$$

2. Конструктивные формы. Служебные требования

Из сказанного выше следует, что аэродинамические характеристики оперения можно подсчитать, зная положение и размеры стабилизирующих поверхностей. Обратное решение задачи, например, определение размеров стабилизатора по заданной кучности пока не-



а *б* *в*

Рис. 234. Схема стабилизаторов, не выходящих за калибр снаряда.

возможно. Поэтому определение размеров стабилизирующих поверхностей производится методом последовательных приближений и, естественно, размеры стабилизатора должны быть не выше требуемых, так как увеличенные габариты оперения резко ухудшают служебные качества снаряда: увеличивают укупорку, затрудняют перевозку снарядов, усложняют и увеличивают габариты пускового устройства, создают добавочные трудности при автоматической или полуавтоматической стрельбе реактивными снарядами, увеличивают опасность искривления стабилизаторов, так как с увеличением их габаритов уменьшается жесткость стабилизатора. Поэтому первые образцы стабилизирующих устройств, в частности для снарядов М-8, пытались отработать, как невыходящие за калибр снаряда. При этом испытывались образцы стабилизаторов, схемы которых изображены на рис. 234 *а, б* и *в*.

Стабилизаторы, устроенные по этим схемам, не обеспечивали хорошей устойчивости снаряда на полете, давали плохую кучность, а стабилизатор, изготовленный по схеме 234, *б*, затруднял воспламенение, так как стволик пиропистолета мог устанавливаться только на значительном расстоянии от воспламенителя. После этих неудачных опытов было решено окончательно обратиться к конструкции стабилизаторов, выходящих за габариты снаряда. Только в конструкции боеприпасов для реактивных противотанковых ружей применяется схема стабилизатора, не выходящего за калибр снаряда. В противном случае пусковое устройство было бы громоздким, затрудняющим использование его пехотой. Однако применение таких стабилизаторов уменьшает дальность прямого выстрела.

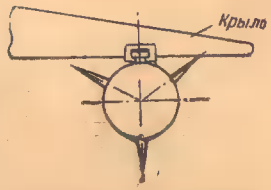


Рис. 235. Схема трехлопастного оперения.

Современные конструкции стабилизаторов по принципу своей работы могут быть разбиты на следующие группы:

1) жесткие стабилизаторы, выходящие за габариты снаряда;

2) жесткие стабилизаторы, не выходящие за габариты снаряда (обычно эта группа из-за недостаточной аэродинамической мощности, помимо перьев стабилизатора, имеет еще усиливающее кольцо);

3) раскрывающиеся стабилизаторы (жесткие);

4) раскрывающиеся пружинные стабилизаторы.

Аэродинамическая мощность последних двух групп стабилизаторов, как показывает теория и опыт, является неудовлетворительной, поэтому пока они получили применение лишь в противотанковой реактивной артиллерии и в реактивных снарядах, идущих на вооружение самолетов, так как, во-первых, снаряды с большими габаритами оперения резко ухудшают аэродинамические свойства самолетов, и, во-вторых, снаряд, поставленный на самолет, значительно улучшает свою кучность за счет добавочной скорости самолета.

В осуществленных конструкциях стабилизаторов применяются 3, 4, 6, 8 и 12 лопастей, причем трехлопастные стабилизаторы имеют наибольшее применение в авиации так как в этом случае можно расположить снаряд ближе к крылу самолета (рис. 235), что улучшает аэродинамику самолета. Чаще всего применяются 4- и 6-лопастные стабилизаторы.

К стабилизатору предъявляются следующие служебные требования:

1. Достаточная аэродинамическая мощность, обеспечивающая хорошую устойчивость и кучность снаряда. Это требование выпол-

няется выбором надележащих размеров стабилизатора и проверяется расчетом.

2. Жесткость стабилизатора, предупреждающая отсутствие вибраций на полете, которые ухудшают кучность и уменьшают дальность полета.

3. Легкость стабилизатора, обеспечивающая меньший пассивный вес снаряда, и тем самым увеличивающая скорость снаряда.

4. Надежность крепления перьев стабилизатора к обтекателю и стабилизатора в целом — к снаряду. Стабилизаторы крепятся сваркой, электрозаклепками, резьбовыми или заклепочными соединениями, причем последние два вида соединений применяются преимущественно в снарядах крупных калибров. Надежное крепление стабилизатора должно обеспечивать отсутствие осевого перемещения, и проворачивания. Желательно, спроектировать оперение так, чтобы имелась возможность легкой смены стабилизатора.

Рис. 236. Схема Т-образного оперения.

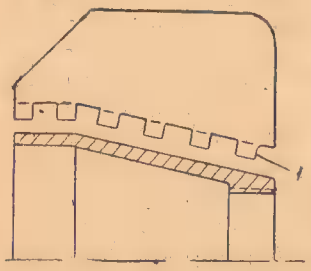


Рис. 237. Стабилизатор с приклепанными лопастями.

Рассмотрим, как выполняются эти служебные требования в различных конструкциях стабилизаторов.

В одной из первых конструкций стабилизаторов размах лопастей делался сравнительно небольшим, а отдельные лопасти делались Т-образными (рис. 236). Однако широкого распространения такое оперение не получило, так как оно имеет ряд недостатков: перья стабилизатора имеют меньшую жесткость по сравнению со сплошным кольцом, аэродинамическая мощность такого стабилизатора меньшая, чем стабилизатора с кольцом, большие технологические трудности изготовления, пусковое устройство сложнее, чем при обычных лопастях стабилизаторов. Поэтому от такой конструкции оперения отказались.

В последующих конструкциях стабилизаторов, чтобы сделать их достаточно легкими, стали применять дюралюминий. Такая конструкция стабилизатора изображена на рис. 237. Обтекатель имел резьбу и навертывался на сопло. Лопасти стабилизатора отштамповывались вместе с лапками (1), которые затем отгибались и приклепывались к обтекателю. Конструкция такого обтекателя не обладала достаточной жесткостью, перья стабилизатора получали вибрацию на полете. Были случаи, при опытных стрельбах, когда снаряд из-за больших вибраций терял в дальности в 2—3 раза и

резко падала его кучность. Технология изготовления такого стабилизатора была достаточно сложной.

Исключительно широкое распространение получили стабилизаторы с лопастями, сваренными из двух фасонных листов (рис. 238) и применяющиеся в конструкциях отечественных снарядов. Этот стабилизатор в основном удовлетворяет перечисленным выше служебным требованиям легкости, жесткости, аэродинамической мощности и надежному креплению к крышке-соплу. Стабилизатор состоит из следующих деталей: конусного обтекателя, изготовленно-

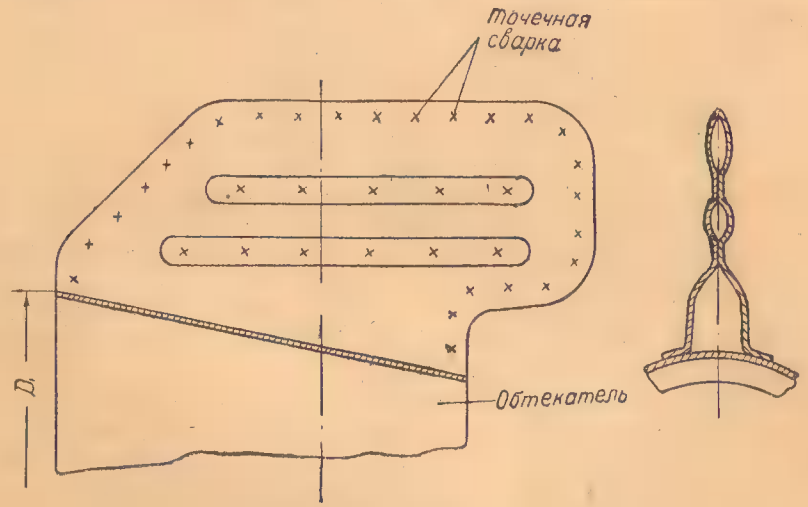


Рис. 238. Стабилизатор снаряда М-8.

го из листового железа толщиной 1—1,5 мм и сваренного в продольном направлении, либо встык газовой сваркой, либо внахлестку или с накладкой — электрической сваркой. В собранной конструкции стабилизатора шов располагается между отдельными лопастями для того, чтобы он, во-первых, не мешал прилеганию лопастей и, во-вторых, для проверки прочности шва. Размер D_1 обтекателя должен быть достаточно точным (не ниже 5 класса точности) для того, чтобы обтекатель плотно прилегал к детали крышка-сопло и не выходил за габариты снаряда, что могло бы привести к задиранию направляющей планки. Обычно размер D_1 делают на 1—1,5 мм меньше калибра снаряда.

Лопасти стабилизатора (правая и левая) выштамповываются из декапированного железа толщиной от 0,5 до 1 мм, причем для жесткости на них выштамповываются зиги; затем правая и левая лопасти свариваются по периферии и по зигам точечной сваркой с шагом между точками 12—15 мм. У сваренной лопасти отбортовы-

ваются края, которыми лопасть крепится к обтекателю. Во многих случаях (снаряд М-31 УК) лопасть крепится к обтекателю под некоторым углом (1—4°), что приводит к проворачиванию снаряда на полете, но одновременно увеличивает лобовое сопротивление и уменьшает дальность.

Разобранная конструкция оперения обладает следующими недостатками:

1. Внутри стабилизатора, благодаря конфигурации его лопастей, образуется полость, которая, хотя и имеет антикоррозийное покрытие (цинкование, покрытие лаком), все же является, как показал опыт, очагом коррозии.

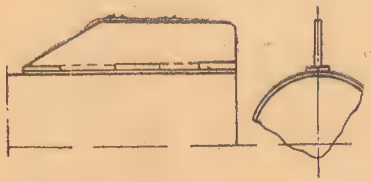


Рис. 239. Схема оперения снаряда „Тайфун".

2. Жесткость лопастей стабилизатора по периферийной кромке не является достаточной и, как показывает практика, в служебном обращении лопасти изгибаются.

3. Конфигурация лопастей стабилизатора снарядов М-8 и М-13 выбрана недостаточно удачной, так как лопасти выходят за срез сопла, что, с одной стороны, при определенной площади оперения уменьшает его подъемную силу, а с другой — увеличивает опасность искривления стабилизатора.

Эти недостатки в меньшей степени присущи стабилизаторам, лопасти которых изготовлены из одного листа стали толщиной 2—3 мм (снаряд «Тайфун» рис. 239). В некоторых случаях, для увеличения жесткости лопасти, на ней могут быть выштампованы зиги. Края лопасти отгибаются и привариваются к обтекателю, который имеет цилиндрическую форму и одевается на реактивную камору.

Для снарядов больших калибров, ввиду их большого веса, а следовательно, и увеличения опасности изгиба стабилизатора, рационально делать съемное оперение, что в большой степени упрощает транспортировку таких снарядов. Так как стрельба снарядами крупных калибров, как правило, ведется с закрытых позиций на определенном удалении от переднего края, необходимость в некотором добавочном времени, потребном для одевания и укрепления стабилизатора, не является существенным недостатком.

Снимающееся оперение может быть выполнено в двух конструктивных вариантах:

1) лопасти оперения собраны на обтекателе и весь стабилизатор одевается на снаряд сразу,

2) единичные лопасти-стабилизаторы, одеваемые на снаряд раздельно.

Последние имеют преимущества перед первыми по компактности при хранении и транспортировке, но постановка их на снаряд потребует добавочного времени, и конструктивно они более сложны.

Конструкция раскрывающегося оперения изображена на рис. 240. Оно состоит из кольца (2), навертывающегося на сопло снаряда. Открывающиеся лопасти (1) вращаются на оси (3). Для того, чтобы в служебном обращении лопасти не раскрывались, служит фа-

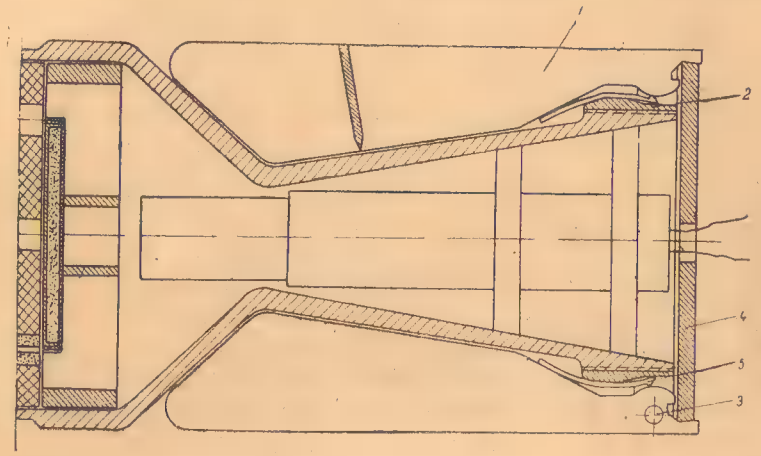


Рис. 240. Схема раскрывающегося оперения.

сонная шайба (4), выталкиваемая в начале горения струей пороховых газов. Для надежного открывания лопастей (1) можно применить пластинчатые пружины (5).

Имея ряд достоинств, раскрывающееся оперение плохо отвечает основным служебным требованиям и, в первую очередь—необходимой аэродинамичсской мощности; это связано с тем, что размеры лопастей не могут быть достаточными по свом размерам (в лучшем случае ширина лопасти может быть выполнена равной 1/4 калибра, а для получения удовлетворительной кучности ширина лопасти должна быть значительно большей). Изготовление такого раскрывающегося оперения сложно, а жесткость раскрывающихся лопастей не является достаточной.

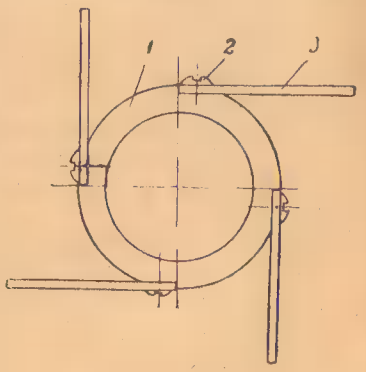


Рис. 241. Схема пружинного оперения.

На рис. 241 показано пружинное раскрывающееся оперение, применяемое в «фаустпатронах».

Оно состоит из стержня (1), к которому винтами (2) прикрепляется пружинная листовая лопасть (3) толщиной 0,3—0,5 мм.

Опыт показывает, что кучность при таком оперении невысокая, хотя размеры оперения достаточно большие. Можно предположить, что недостатки раскрывающегося пружинного оперения происходят из-за отсутствия симметрии оперения и наличия вибраций на полете.

3. Технология изготовления стабилизаторов

Дадим краткое описание технологии изготовления стабилизаторов к снарядам М-8 и М-13.

Для изготовления обтекателя и лопастей стабилизаторов применяется декапированная сталь по ГОСТ В-1386-42 с обязательной последующей гальванической оцинковкой, либо же тонколистовая оцинкованная сталь.

Главнейшие технологические операции следующие:

А. Обтекатель:

1) вырубка и гибка (предварительная) детали;
2) окончательная гибка детали по форме усеченного конуса;
3) прихватка краев обтекателя в трех точках.
4) приварка наложенной планки точечной электросваркой (шаг 8—12 мм);
5) обкатка обтекателя на оправке токарного станка, благодаря чему обтекателю придаются правильная форма и нужные размеры;
6) подрезка торцов обтекателя;
7) цинкование.

Б. Лопасть стабилизатора:

1) вырубка и формовка лопасти (производится на штампе комбинированного действия);
2) зачистка заусенцев на наждачном камне;
3) опескоструивание;
4) гальваническое цинкование (обезжиривание, промывка, травление, цинкование, пассивирование, промывка, сушка);
5) точечная сварка по зигам, по периферии; шаг сварки 12—15 мм,
6) зачистка мест сварки наждаком;
7) 1-я и 2-я отбортовки края лопасти для крепления ее к обтекателю;
8) окраска сваренных лопастей изнутри лаком № 177.

В. Сборка стабилизатора:

1) сборка лопастей с обтекателем (производится в приспособлении, координирующем положение лопастей);
2) предварительная прихватка лопастей точечной сваркой;
3) окончательная приварка лопастей точечной сваркой.

Качество приварки контролируется выборочно отрыванием лопасти от обтекателя и разрывом двух сваренных лопастей.

Если разрыв происходит не по местам соприкосновения в точках приварки, а по цельному металлу, то качество приварки хорошее.

Для получения сварки надлежащего качества необходимо соблюдать следующие основные правила:

1. Хорошая зачистка свариваемых поверхностей. Общее сопротивление на пути тока при точечной сварке определяется формулой

$$R = 2r_о + 2r_п + r_к,$$

где:

$r_о$ — омическое сопротивление металла,
$r_п$ — переходное сопротивление от электрода к свариваемому металлу,
$r_к$ — контактное сопротивление между свариваемыми листами.

Сопротивление $r_к$ значительно больше сопротивлений r_0 и $r_п$, благодаря чему между свариваемыми деталями концентрируется наибольшая часть тепла. Если контактная поверхность загрязнена, то переходное сопротивление $r_п$ сильно возрастает, что приведет к глубокому вдавливанию электрода в деталь, а иногда и к привариванию электрода к детали, в то время как сами детали приварятся плохо.

2. Диаметр заостренного конца электрода должен быть строго определенным, так как при изменении диаметра точки может меняться давление при сварке. При заниженном давлении разогрев идет быстрее, но при этом может происходить искрообразование, приводящее к прогарам. При завышенном давлении детали сжимаются настолько плотно, что контактное сопротивление уменьшается и разогрев идет слишком долго.

3. Не следует ставить точку слишком близко от края лопасти, так как металл может выдавливаться за пределы лопасти.

4. Выдержка под током должна производиться до получения пластического состояния, что может осуществляться либо непосредственно рабочим, либо автоматически.

5. Сила тока сварочного агрегата должна быть постоянной.

Так как в производстве реактивных снарядов оцинкованию подвергаются не только стабилизатор, но и ряд других деталей (колосниковая диафрагма, корпус пиросвечи, заглушка пиросвечи), дадим краткое описание процесса цинкования.

Цинкование может производиться двумя методами: горячее цинкование, т. е. погружение изделия в расплавленный цинк, и гальваническое цинкование. Основное достоинство горячего цинкования — быстрота производства. Однако горячее цинкование по сравнению с гальваническим менее прочно, менее чисто, обладает меньшей химической стойкостью из-за худшего сцепления цинкового покрытия с железом и, кроме того, требует значительно большего расхода цинка.

Требуемая толщина цинкования зависит от условий хранения

оцинкованных деталей равняется 8 — 10 μ для изделий, хранящихся в комнатных условиях, 15 — 20 μ для изделий, хранящихся в атмосферных условиях, 30 — 50 μ для изделий, находящихся под действием растворов или паров.

Поверхности деталей, подлежащих цинкованию, должны быть подготовлены таким образом, чтобы на них не было никаких следов жира и окислов, которые можно удалить механическим или химическим способами. К механическим способам относится шлифовка, голтовка, опескоструивание. Поверхность деталей, подлежащих цинкованию, чаще всего подготавливается химическим и электрохимическим способами. Жировые загрязнения на поверхности изделий можно разделить на две группы: 1) жиры животного и растительного происхождения и 2) минеральные масла. Обе группы жиров растворяются в органических растворителях (бензин, керосин, трихлорэтилен и т. д.). Для окончательного химического обезжиривания применяют щелочные растворы; при этом жиры животного происхождения, вступая в химическое взаимодействие со щелочью, образуют мыло, а жиры минерального происхождения — эмульсии, легко удаляемые затем с поверхности изделий.

При электрохимическом обезжиривании процесс ведется в ваннах примерно того же состава, что и при химическом обезжиривании. При действии постоянного тока процесс обезжиривания ускоряется в несколько раз. Изделия обычно завешиваются на катоде. Анодами служат стальные пластины или железные стенки ванны. Изделия завешиваются на 2—3 минуты на катодную штангу и на ½ минуты — на анодную (эта операция производится переключением направления тока).

После обезжиривания для удаления с поверхностей изделия окислов производится травление в серной, соляной или азотной кислоте. Возможно также применение электрохимического травления.

После обезжиривания и травления обязательна тщательная промывка изделий в холодной воде.

Электролитическое цинкование можно осуществлять в кислых или щелочных ваннах.

В основном состав кислых цинковых ванн следующий:

1) цинковая соль,

2) соль щелочного металла, которая вводится для повышения электропроводности,

3) буферное соединение, поддерживающее концентрацию ионов водорода на постоянном уровне,

4) вещество, улучшающее структуру цинковых покрытий (декстрин, желатин).

Обычно напряжение, при котором проводится цинкование = 3,5—4 *в*, температура ванны 18—25°; время цинкования зависит от плотности тока и требуемой толщины покрытий.

Щелочные ванны могут быть двух родов: не содержащие цианистых солей и щелочно-цианистые ванны. Ванны, не содержащие цианстых солей, так называемые цинкатные ванны, хотя и безвредны, удовлетворительно работают при низкой плотности тока, а поэтому могут применяться только для очень тонких покрытий.

Основными видами брака при цинковании являются:

а) образование губчатых покрытий вследствие загрязненности электролита,

б) отслаивание покрытий, как следствие плохого обезжиривания,

в) пузыри и загары, получающиеся при повышенной плотности тока,

г) темные покрытия получаются при слишком высоких значениях *Ph* в кислых ваннах, либо при недостатке щелочи или цианида в щелочных ваннах.

Контроль цинковых покрытий может быть произведен следующим образом:

а) Проверка плотности сцепления покрытий производится путем многократного изгиба детали на 180°. При этом не должно быть заметного отслаивания покрытия. Если изделие не поддается перегибу, то необходимо острием нанести четыре глубоких (до основного металла) риски так, чтобы они образовали четырехугольник. Покрытие также не должно отслаиваться.

б) Проверка толщины покрытий производится либо подсчетом по плотности тока и времени выдержки, либо по весу оцинкованного и неоцинкованного изделий.

в) Определение пористости покрытия производится реактивами, которые не реагируют с покрытием, но весьма чувствительны при взаимодействии с основным металлом. При цинковых покрытиях испытываемые изделия завешиваются в качестве анодов в раствор желтой кровяной соли (40 г/л) и сернистого магния (2 г/л). Катодом служат свинцовые пластинки. Плотность тока на аноде 0,2—0,25 *а* /дм². В местах пор образуются синие точки.

г) Испытание коррозийной стойкости изделий производятся в среде, зависящей от условий эксплоатации изделий. О стойкости покрытий при испытании судят по внешнему виду изделий, образованию ржавчины, потере в весе и т. д.

Основными видами брака в производстве стабилизаторов к снарядам М-8 и М-13 являются:

1. Смещение крыла при сборке под сварку вдоль конусной части обтекателя. Уменьшение этого вида брака зависит от тщательности выполнения операции рабочим и от надежности работы приспособления.

2. Прожоги листа при точечной сварке. Этот вид брака может быть ликвидирован хорошей регулировкой сварочной машины, либо (при простых машинах) внимательным отношением к работе.

3. Местное отслоение цинка на крыльях и на обтекателе. Причина — недостаточно хорошая подготовка поверхности под цинкование, или слишком толстый слой цинка.

4. Поводка крыла стабилизатора при сварке.

5. При изготовлении обтекателя иногда применяется планка для соединения свернутого листа обтекателя. Эта планка несколько отходит после обкатки обтекателя, и в процессе цинкования электролит, попадая в зазоры между планкой и корпусом обтекателя, дает очаг коррозии, совершенно недопустимый при длительном хранении стабилизатора. Во избежание этого недостатка следует производить автогенную сварку обтекателя встык.

6. Неравномерность по толщине листа, идущего на изготовление крыльев стабилизатора и обтекателя, ведет к чрезвычайно большому разбросу по весу готового стабилизатора.

§ 45. ВОСПЛАМЕНИТЕЛЬ

Назначением воспламенителя является усиление огня от зажигательного устройства (пиропатрона, электрозапала) для быстрого и безотказного воспламенения порохового заряда. Применение воспламенителя необходимо в тех случаях, когда мощности луча огня, зажигательного устройства, недостаточно для воспламенения всего заряда. Так как реактивные заряды имеют значительную длину, то постановка воспламенителя в реактивном снаряде в громадном большинстве случаев необходима. Воспламенитель должен быть расположен таким образом, чтобы луч огня от зажигательного устройства ударял непосредственно в него.

К воспламенителю могут быть отнесены следующие детали:

1. Воспламенительный состав в виде навески или прессованной шашки, состоящей либо из дымноружейного пороха, либо из легковоспламеняющегося бездымного пороха (пористый пироксилиновый порох), либо из специального пиротехнического состава.

2. Устройства для защиты воспламенительного состава от разрушения в служебном обращении, при транспортировке, предохраняющие воспламенительный состав от действия влаги, химического разложения.

3. Устройства для передачи огня от одного воспламенителя к другому (обычно от соплового к донному).

Как показывают опыты, надежное зажжение порохового заряда может быть лишь в том случае, если пламя воспламенителя полностью охватит всю поверхность порохового заряда. Поэтому надежное воспламенение порохового заряда произойдет лишь тогда, когда воспламенитель будет установлен в донной части реактивной каморы. Если зажжение воспламенителя, расположенного таким образом, представляет определенные трудности, ставят два воспламенителя — верхний (головной) и нижний (сопловой

или диафрагменный). Сопловой воспламенитель может быть расположен до диафрагмы и за ней. В обоих случаях подвод пламени от зажигательного устройства не представляет особых затруднений. Верхний и нижний воспламенители должны быть защищены от механических повреждений, для чего они помещаются в специальных коробках, называемых обычно диафрагмой воспламенителя.

Вес воспламенителя из дымноружейного пороха может быть определен формулой

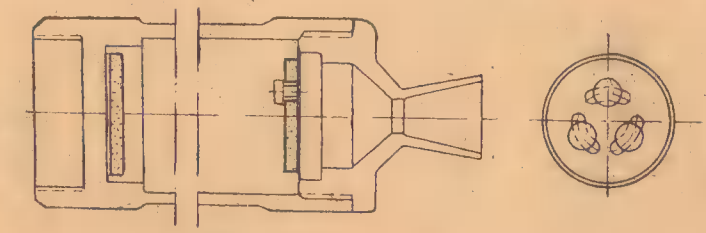


Рис. 242. Воспламенители снаряда М-8.

$$\omega_0 = 16\sqrt{\frac{S_0 \cdot \sigma_к}{\Delta}},$$

где:

ω_0 — вес воспламенителя в граммах,

S_0 — начальная поверхность заряда в дм^2

$\sigma_к$ — площадь критического сечения сопла в дм^2,

Δ — плотность заряжания кг/дм^2.

Эта и некоторые другие формулы дают примерный вес воспламенителя; точный вес воспламенителя зависит от многих других факторов и может быть подобран пока только опытным путем, при изучении кривых давления.

Воспламенитель снаряда М-8, состоящий из двух навесок ДРП весом по 11 г каждая, помещается в миткалевых мешочках (рис. 242). Нижний воспламенитель одевается на штифты диафрагмы, а верхний прикрепляется к картонке и укладывается на дно реактивной каморы. Нижний воспламенитель предохраняется от нажима пороховых шашек выступающими на диафрагме штифтами; на верхний воспламенитель пороховые шашки не действуют, так как они упираются в буртик реактивной каморы. Недостатками помещения воспламенителя в миткалевых мешочках являются:

1) ненадежное предохранение ДРП от действия влаги,

2) изготовление миткалевых мешочков требует применения большого количества ручного труда.

Поэтому заслуживает внимания конструкция влагостойкого

воспламенителя, вставляемого в сопло (применяется в реактивных снарядах иностранных армий, рис. 243).

В корпусе воспламенителя (1), изготовляемого из прессованного картона, имеется ряд отверстий, заклеенных нитропленкой (2). Торец корпуса после засыпания порохового заряда также заклеивается целлулоидной крышкой (3). Такой конусный влагостойкий воспламенитель вставляется в сопло, например, на суриковой за-

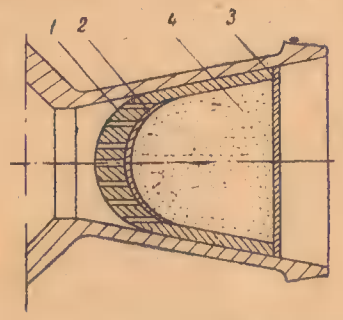


Рис. 243. Влагостойкий воспламенитель.

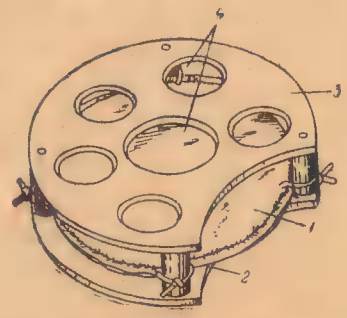


Рис. 244. Диафрагма к воспламенителю М-13.

мазке и, следовательно, одновременно предохраняет пороховой заряд от попадания на него влаги.

Воспламенитель снаряда М-13, состоящий из 50 г ДРП, размещенного в миткалевом мешочке, помещается в специальной коробке-диафрагме, изготовленной из фанеры и имеющей отверстия для выхода огня (рис. 244).

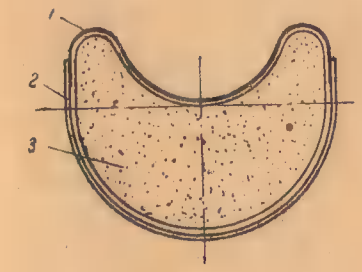


Рис. 245. Влагостойкий воспламенитель

Положение диафрагмы фиксируется выступающими концами пиросвечи. Вместо миткалевого мешочка для пороха также возможно помещать ДРП в футляр из картона, верхняя часть которого заклеивается целлулоидной лентой (рис. 245).

Пиротехнические воспламенители характеризуются более длительным временем горения, чем воспламенители из ДРП. Их применение наиболее целесообразно для стрельбы при низких температурах.

Можно рекомендовать следующий состав пиротехнического воспламенителя:

$Ba(NO_3)_2$ — 73%, Al (порошок) — 14%, Mg (порошок) — 13%, сверх 100% идитол — 9%, этиловый спирт — 4%.

Пиротехнические воспламенители нашли широкое распространение в немецких реактивных снарядах. В § 9 были приведены конструкции диафрагм и футляров, в которых помещаются шашки пиротехнического воспламенителя.

Такие футляры можно изготавливать из целлулоида. Две штампованные половинки, после помещения в них воспламенительного состава, склеиваются.

Огнепроводы предназначены для передачи огня от нижнего воспламенителя к верхнему. Опыты показывают, что при расстоянии между воспламенителями более 250—300 мм могут быть случаи отказа в зажжении верхнего воспламенителя при отсутствии огнепровода. Огнепровод состоит из усилительных пороховых петард и стопиновой нити, расположенных либо непосредственно в канале пороховой шашки, либо в специальной целлулоидной трубке.

§ 46. ЗАЖИГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Зажигательные устройства для реактивных снарядов по принципу своего действия могут быть разделены на следующие группы:

1) электрические зажигательные устройства (пиропатроны, электрозапалы);

2) ударные зажигательные устройства (в некоторых конструкциях реактивных снарядов электрические зажигательные устройства дублируются ударными);

3) дистанционные зажигательные устройства, роль которых сводится к передаче огня от одной каморы к другой, причем эта группа устройств может быть выполнена в виде пороховых или механических замедлителей (с часовым механизмом);

4) вытяжные зажигательные устройства.

Применение зажигательных устройств последней группы в реактивных снарядах небезопасно, так как может при небрежном обращении привести к случайному выстрелу. Поэтому желательно к реактивным снарядам вытяжные зажигательные устройства не применять.

Основными тактико-техническими требованиями, предъявляемыми к зажигательным устройствам, являются:

1) безопасность в обращении и достаточная чувствительность к импульсу, возбуждающему взрыв;

2) форс огня, достаточный для безотказного и быстрого зажжения воспламенителя;

3) стойкость при длительном хранении;

4) точное время срабатывания для дистанционных зажигательных устройств.

В реактивных снарядах наибольшее распространение получили электрические зажигательные устройства, с помощью которых проще всего осуществить выстреливание большого количества снарядов в короткое время.

Среди электрических зажигательных устройств для отечественных снарядов наибольшее распространение получили пиропатроны ПП-4 и ПП-5 (рис. 26) и платиновые электрозапалы (рис. 29), описанные нами ранее в § 8.

Пиропатрон либо вставляется в пиропистолет (для пуска снарядов М-8), либо в пиросвечу (рис. 246, для снарядов М-13), которая состоит из корпуса пиросвечи (1), гайки (2), фибрового изолятора (3), латунного контакта (4), свинцовой прокладки (5), предотвращающей прорыв пороховых газов. Для производства выстрела ток от источника питания подается в пиропатрон через контакт (4) пиросвечи, контакт пиропатрона, далее на мостик накаливания и через корпус пиропатрона и пиросвечи на массу снаряда и боевой машины.

Для предупреждения прорыва пороховых газов, а также для предохранения от коррозии корпус пиросвечи облуживается, или покрывается каким-либо цветным металлом, например, методом шоопирования. Резьба пиросвечи должна быть рассчитана таким образом, чтобы предотвратить вырыв пиросвечи из реактивнрй каморы.

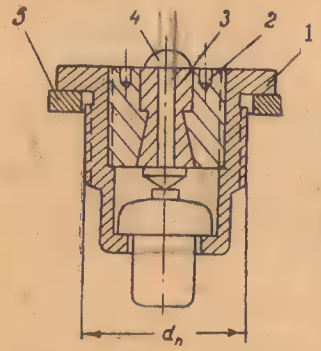


Рис. 246. Пиросвеча.

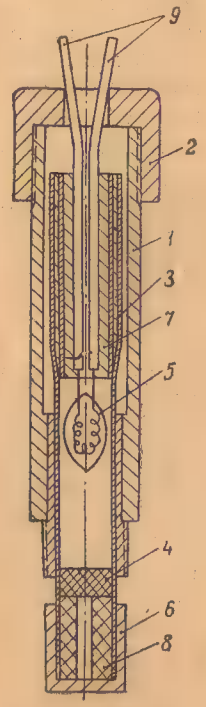


Рис. 247. Элетрозапал к 280-и 320-мм немецким снарядам.

Сила, вырывающая пиросвечу, очевидно, будет равна

$$P = \frac{\pi}{4} d_п^2 \varphi \cdot p_{max},$$

где $d_п$ — диаметр пиросвечи.

На эту силу производится расчет высоты резьбы пиросвечи; резьба рассчитывается на изгиб и срез.

Шаг резьбы для лучшей герметизации принимают небольшим, 0,5—1 мм. Все детали пиросвечи изготавливаются обычно на автоматах и с точки зрения технологии здесь никаких трудностей не встречается.

Электрозапал, применявшийся в немецких 280- и 320-мм снарядах (рис. 247), состоит из следующих деталей: пластмассовый корпус (1), пластмассовая крышка (2), алюминиевая трубка (3), пороховой замедлитель (4), мостик накаливания (5), на конце которого имеется воспламенительный состав, колпачок из пропарафинированного картона (6), пластмассовый изолятор (7), пороховой усилитель (8), электропровода (9).

Недостатком пиропатронов и электрозапалов является необходимость соединения контактов зажигательного устройства с контактами источника тока. Это может привести в некоторых случаях к отказам, если контакты будут покрыты грязью, льдом; с другой

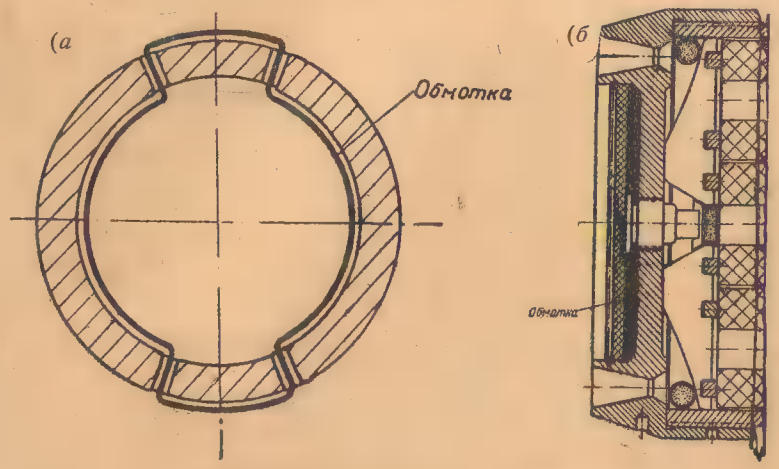


Рис. 248. Индукционная обмотка.

стороны, из-за этого может понизиться скорострельность. Этих недостатков лишены системы индукционного воспламенения по типу, примененному в снаряде «Тайфун» и описанному в § 16.

В индукционной системе зажигания снаряда «Тайфун» вторичная обмотка размещалась на внешней поверхности снаряда, что могло привести к срыву обмотки на снаряде от струи пороховых газов рядом идущего снаряда.

Возможно, однако, такое размещение вторичной обмотки зажигания, которое надежно предохраняет ее от действия пороховых газов. Так, например, на рис. 248, *а* показана схема расположения обмотки внутри реактивной каморы, а на рис. 248, *б* — расположение обмотки на торце снаряда. Эта последняя схема может быть удобно использована при полуавтоматической стрельбе если загрузка снаряда на направляющую производится из магазина.

Ударные зажигательные устройства в реактивных снарядах применяются значительно реже, так как при этом труднее одновременно выстреливать большое количество снарядов. Поэтому ударные зажигательные устройства могут быть либо в системах единичного огня (реактивные противотанковые ружья), либо в снарядах, вы-

пускаемых с установки, имеющей одну направляющую, заряжание которой производится из магазина (например, американская полуавтоматическая установка Т-45). Наконец, могут быть случаи отсутствия по каким-либо причинам электрического тока. Ударные зажигательные устройства не уступают электрическим в простоте устройства и обслуживания, безотказности в действии и позволяют обходиться без системы проводов, контактов, и других частей, могущих давать либо отказы, либо самопроизвольное включение при загрязнении, обледенении, обрыве проводов и других неисправностях.

Для ударных зажигательных устройств применимы капсюли-воспламенители, употребляющиеся в ствольной артиллерии, например капсюль Норденфельда или капсюль Жевелло. При этом к капсюлям-воспламенителям для реактивных снарядов предъявляются те же, что и в ствольной артиллерии, тактико-технические требования, за исключением требования обтюрации пороховых газов при выстреле. Капсюль-воспламенитель запрессовывается во втулку (обычно пластмассовую), которая вставляется в сопло. При разбивании капсюля и воспламенении порохового заряда давлением газов пластмассовая втулка вместе с капсюлем-воспламенителем вылетает из сопла.

Возможно для упрощения конструкции ударно-стреляющего механизм и для большей безопасности боёк поместить в пластмассовой втулке на предохранительной чеке, как это было выполнено в РБГ-82 (рис. 68). Действием ударно-стреляющего механизма чека срезается и боёк разбивает капсюль-воспламенитель.

Дистанционные зажигательные устройства применяются в многокаморных реактивных снарядах для воспламенения пороховых зарядов отдельных камор в установленной последовательности. Дистанционные зажигательные устройства могут быть пороховыми и механическими; при их конструировании можно использовать аналогичные устройства в дистанционных трубках, за исключением устройства, основанного на принципе измерения числа оборотов снаряда, так как многокаморные реактивные снаряды делают исключительно оперенными.

Дистанционные зажигательные устройства в принципе проще соответствующих механизмов дистанционных трубок, так как здесь часто вовсе не требуется (либо требуется в весьма ограниченных пределах) регулировка времени горения зажигательного устройства. Поэтому в простейшем случае пороховое дистанционное зажигательное устройство будет представлять собою столбик прессованного трубочного пороха, вставленного в дно, которое разделяет две соседние каморы. Механическое дистанционное устройство, работающее определенное время, может быть выполнено также более простым, чем аналогичное устройство с часовым механизмом, рассчитанное на различное время срабатывания. Недостатком пороховых дистанционных зажигательных устройств является ненадежность их работы на большой высоте и особенно большое рассеивание времени горения, что непосредственно отражается на кучности реактивных снарядов. В лучших дистанционных зажигательных устройствах можно принять следующие величины рассеивания: в пороховых зажигательных устройствах 0,3—1% от полного времени горения; в механических зажигательных устройствах 0,1—0,3% от полного времени горения.

§ 47. ВЗРЫВАТЕЛИ ДЛЯ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Взрыватели для реактивных снарядов, как и для снарядов артиллерийских, предназначены для сообщения взрывного импульса разрывному или вышибному зарядам. Не так давно для реактивных снарядов использовали существующие образцы взрывателей. Лишь в последнее время начали вести разработку специальных взрывателей с учетом специфики реактивных снарядов, так как артиллерийские взрыватели не отвечают полностью требованиям к взрывателям для Р. С.

Помимо общих тактико-технических и производственно-экономических требований, предъявляемых к артиллерийским трубкам и взрывателям (безопасность в обращении, надежная взводимость при выстреле, чувствительность и требуемое время действия при ударе в преграду, простота приемов при заряжании), взрыватель для реактивных снарядов не должен действовать при неполном и неправильном сгорании порохового реактивного заряда; обеспечивать безопасность при движении снаряда на активном участке траектории, т. е. взведение взрывателя должно происходить в конце активного участка траектории.

Главными особенностями при проектировании взрывателей для реактивных снарядов являются:

1. Малая величина линейных ускорений при выстреле, что в некоторых случаях делает невозможным взведение взрывателей от линейных ускорений, а в некоторых случаях приходится делать специальные инерционные механизмы, отличные от обычных. По этой же причине практически исключается возможность самопроизвольного взрыва современных трубочных капсюлей от сотрясения при выстреле, что упрощает устройство взрывателя.

2. Продолжительность действия сил инерции, возникающих на активном участке траектории от действия реактивной силы, в сотни, а иногда в тысячи раз больше, чем продолжительность действия инерционных сил у артиллерийских снарядов.

3. Отсутствие вращательного движения у оперенных снарядов, вследствие чего исключается возможность применения центробежных предохранителей.

4. Удобство использования давления и высокой температуры пороховых газов в реактивной каморе для взведения взрывателей.

Конструкции конкретных образцов взрывателей изложены в специальной литературе [1]. Отметим лишь те основные принципы, которые положены в основу устройства предохранителей для взрывателей реактивных снарядов, так как именно предохранитель является главным элементом любого взрывателя, обеспечивающим выполнение важнейших тактико-технических требований.

Взрыватели для реактивных снарядов могут быть разбиты на две группы:

1) взрыватели для оперенных снарядов, большая часть которых может быть применена также для турбореактивных снарядов;

2) взрыватели для турбореактивных снарядов.

1. Взрыватели для оперенных снарядов

1. Инерционные предохранители взрывателей для реактивных снарядов, взводящиеся от линейных сил инерции, могут применяться лишь в том случае, если коэффициент взводимости не менее 50—60.

Напомним, что величина коэффициента взводимости К для реактивных снарядов может быть приблизительно определена по формуле

$$K = \frac{1{,}5 \cdot p\sigma_к}{Q},$$

где:

p — давление в реактивной каморе,

$\sigma_к$ — площадь критического сечения сопла,

Q — полный вес снаряда.

Величина коэффициента взводимости К для некоторых реактивных снарядов дана в табл. 27.

Таблица 27

Снаряд	Коэффициент взводимости К
Осколочный РС М-8	57
Осколочно-фугасный РС М-13	45
100-мм зенитный РС „Тайфун“	92,5
88-мм РС „Офенрор“	435 (при $t = 40°C$)
Фаустпатрон-100	1690

Чем меньше коэффициент взводимости, тем труднее достигнуть надежной взводимости. Но так как в реактивных снарядах действие ускорения продолжается относительно долго, можно проектировать предохранители либо с увеличенной длиной хода инерционной детали (до 100 мм), либо с применением зигзагообразной направляющей для инерционной детали. Увеличение длины хода инерционной детали повышает безопасность при ударах и сотрясениях, так как при этом, хотя и возникают значительные силы инерции, они действуют кратковременно и взведение взрывателя не происходит. Увеличение длины хода инерционной детали может вызвать нежелательное удлинение взрывателя.

Взрыватели, построенные по указанному принципу, обеспечивают дальнюю взводимость в конце активного участка траектории (применялись в немецких снарядах «Тайфун», «Оффенрор», «Фаустпатрон»).

2. Взведение предохранительных устройств взрывателей для реактивных снарядов возможно произвести, используя высокую температуру в реактивной каморе или давление, либо то и другое. В § 9 и 20 был описан взрыватель к 80-мм оперенному снаряду, в котором использовалась высокая температура в реактивной каморе для плавления легкоплавкого предохранителя, удерживающего капсюль и жало взрывателя в безопасном положении и взрыватель АВ-96, взводящийся под действием давления пороховых газов.

Известны также и другие конструкции ударных и дистанционных взрывателей, имеющих продавливающуюся при определенном давлении диафрагму, за которой расположен пороховой замедлитель, воспламеняющийся от пороховых газов в реактивной каморе. Если горение порохового заряда будет аномальным, то давление в реактивной каморе будет невелико и неспособно продавить диафрагму, и, следовательно, в этом случае взведение взрывателя не произойдет. Взрыватели, устроенные на описанном принципе, обеспечивают дальнюю взводимость и безопасность в служебном обращении и при выстреле, но усложняют герметизацию боевой части, взрывателя, теплоизоляцию капсюлей и усложняют снаряжение снаряда.

3. Действие встречного потока воздуха при полете снаряда может быть использовано для взведения предохранителей. Конструктивное использование этого принципа осуществлено в следующих трех вариантах:

а) На взрывателе помещается ветрянка, которая препятствует перемещению ударника в сторону капсюля, или прикрывает мембрану с прикрепленным к ней жалом и предохраняет ее от продавливания. При движении снаряда ветрянка свертывается и взрыватель готов к действию. На этом принципе спроектированы взрыватели для авиабомб, а также для реактивных снарядов АМ-А к снаряду М-8, МК-137 и МК-147, для американских снарядов калибра 4,5 и 7,2 дюйма.

б) вращение ветрянки в магнитоэлектрическом взрывателе используется для того, чтобы замкнуть цепь электрозапала, по которой пройдет ток при действии снаряда о преграду.

[1] И. М. Меламедов, Взрыватели для реактивных снарядов, Энергоиздат, 1948 г.

в) Давление воздуха на поршень, находящегося в головной части, использовано для приведения в действие английской дистанционной трубки к трехдюймовому зенитному снаряду.

Применение взрывателей с поступательно перемещающимся предохранителем от действия сил воздуха позволяет выполнить основные требования к безопасности при выстреле.

Взрыватели с ветряночными предохранителями конструктивно просты и безопасны в обращении и при выстреле, но плохо обеспечивают дальнюю взводимость, сама ветрянка может деформироваться. Для надежного обеспечения безопасности целесообразно вместе с ветрянкой применять добавочные предохранители (инерционные, центробежные).

4. Взрыватели, срабатывающие при ударе о преграду, могут быть двух типов. У обоих типов перемещение ударника производится от реакции преграды. В первом типе взрывателей капсюль-воспламенитель закреплен неподвижно; при случайном падении снаряда ударный механизм, перемещаясь, инициирует капсюль-воспламенитель. Во втором типе капсюль-воспламенитель может перемещаться. При небольших скоростях падения снаряда (в служебном обращении) перемещение ударного механизма вызывает перемещение капсюля-воспламенителя назад, благодаря чему жало ударного механизма не накалывает капсюль-воспламенитель. При больших скоростях падения снаряда капсюль-воспламенитель удерживается в боевом положении силой инерции, благодаря чему он накалывается жалом ударного механизма. Представителем первого типа взрывателей является широко известный взрыватель ГВМЗ, второго типа — головной ударный взрыватель С, применяемый как стандартный головной механизм в некоторых немецких артиллерийских взрывателях. Достоинствами таких взрывателей является простота конструкции, а недостатком — неполная безопасность в обращении.

5. В качестве примера взрывателя с предохранителем, удаляемым перед стрельбой, можно привести описанный в § 13 донный взрыватель к американскому противотанковому снаряду «Базука». Предохранение обеспечивается чекой, удерживающей ударник от перемещения. Наряду с простотой конструкции такие взрыватели имеют существенные недостатки (небезопасность взрывателя после удаления чеки, необходимость удаления чеки, нарушение герметичности взрывателя), а потому целесообразность применения подобного рода взрывателей сомнительна.

6. Конденсаторные взрыватели с двумя последовательно заряжающимися конденсаторами применялись немцами для реактивных бронебойных авиабомб. Принципиальная схема такого конденсаторного взрывателя приведена на рис. 249.

При движении снаряда по направляющей пружинный контакт включается в цепь источника электроэнергии и заряжает аккумулирующий конденсатор (АК). Запальный конденсатор (ЗК) благодаря изоляции выключается из цепи. Во время полета снаряда электрический заряд с АК через сопротивление R перетекает в ЗК, причем время разрядки АК определяет дальность взведения. При ударе снаряда о преграду ударный контакт (*У*) замыкает контактную цепь, запальный конденсатор разряжается через мостик электрозапала, который, нагреваясь, воспламеняет запал (3).

Подобного рода конденсаторные взрыватели обладают рядом крупных достоинств: полная безопасность в служебном обращении, обеспечение дальней взводимости, простота конструкции, независимость работы предохранителя от скоростей и ускорений снаряда. Недостатком таких взрывателей является необходимость источника электроэнергии и устройства для зарядки конденсаторов; в том случае, когда реактивной пороховой заряд зажигается электрическим способом, значение этого недостатка уменьшается.

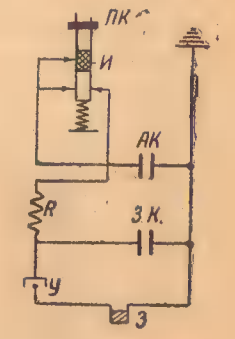


Рис. 249. Схема электро-конденсаторного взрывателя.

2. Взрыватели для турбореактивных снарядов

Ввиду того, что скорость вращения турбореактивных снарядов примерно равняется скорости вращения глубинных артиллерийских снарядов, целесообразно к турбореактивным снарядам применять взрыватели с центробежными предохранителями, так как они обеспечивают безопасность в служебном обращении. Для обеспечения дальней взводимости необходимо так подобрать размеры пружин и масс, перемещающихся под действием центробежных сил, чтобы полное взведение достигалось при максимальной угловой скорости снаряда, т. е. в конце активного участка траектории. Взрыватели с центробежными предохранителями описаны в § 9. В зависимости от устройства и назначения снарядов подобные взрыватели снабжаются механизмами мгновенного, инерционного или замедленного действия.

Как правило, средства инициирования для реактивных снарядов специально не разрабатывались, а применялись из числа разработанных для артиллерийских снарядов. При конструировании новых образцов взрывателей для реактивных снарядов могут быть рекомендованы отечественные капсюли-воспламенители и капсюли-детонаторы как из числа уже применявшихся к реактивным снарядам, так и некоторые другие, проверенные практикой долголетнего применения в ствольной артиллерии (капсюли-воспламенители № 1, КТМ, капсюли-детонаторы № 1, М-1).

§ 48. СБОРКА РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Перед общей сборкой реактивного снаряда производится сборка отдельных узлов. Главнейшими сборочными единицами реактивного снаряда являются боевая и реактивная части, причем в свою очередь реактивная часть собирается из отдельных сборочных узлов. Разберем порядок сборки снаряда М-13.

Перед лакировкой детали тщательно очищают от грязи, пыли, жира, причем необходимо помнить, что разрыв во времени между подготовительными операциями под лакировку и самой лакировкой не допускается. Порядок проведения антикоррозийных покрытий на реактивной каморе следующий.

Из механического цеха камора поступает окончательно обработанная и смазанная пушечной смазкой для предохранения от коррозии. Вначале камора очищается от пушечного сала опилками, а в местах налета коррозии—наждачным порошком. Затем деталь протирается бензином и продувается сжатым воздухом, причем необходимо следить за тем, чтобы в сжатом воздухе не было конденсированной влаги. Далее камора подвергается протирке спиртом-ректификатом. Протирка производится ветошью до тех пор, пока на ветоши не остается следов загрязнений. Затем деталь подвергается лакировке (лаком № 177 для каморы и лаком № 67 для боевой части). Лакировка производится пульверизатором в помещении при температуре 18—22°С. Обычно лакируется вся камора за исключением резьбы. Лаковая пленка не должна иметь отслаиваний, пузырчатости, побелений, инородных включений. После лакировки ветошью, смоченной бензином, производится чистка резьбы от лака. Сушка поверхностей, лакированных лаком № 67, производится в естественных условиях при температуре не ниже 18°С. Сушка поверхностей, лакированных лаком № 177, производится в специальной каморе при температуре 100°С в течение 18—20 мин. Такие ответственные детали, как реактивная камора, лакируются дважды. Реактивная камора после лакировки с обеих сторон защищается от загрязнения картонными заглушками.

После лакировки детали отправляются на узловые сборки. Боевая часть снаряда М-13, состоящая из двух основных деталей (корпуса боевой части и дна), подбирается по весу. Затем корпус боевой части свинчивается с дном; навинчивается пластмассовая пробка в очко. Далее боевая часть протирается вторично бензином, спиртом, производится осалка толщиной 1—1,5 мм, детали укладываются в укупорочные ящики по 2 шт. и посылаются на снарядные заводы.

Направляющие штифты ввинчиваются в камору на полную длину резьбы штифта и дальнейшим навинчиванием (натягом) достигается получение нужного чертежного размера в пределах допуска. Для получения плотного резьбового соединения размер шейки

$l_ш$ — (рис. 250) делается в штифте размером 4,6 мм, а после натяга и смятия резьбы в сборке этот размер становится равным 4,3 мм. После окончательного довинчивания каждый штифт кернится с внутренней стороны каморы не менее чем в двух местах. Правильность постановки направляющих штифтов проверяется пропусканием каморы через специальный прибор (рис. 251).

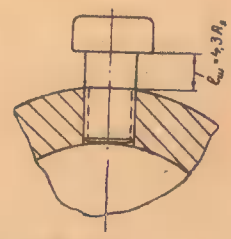


Рис. 250. Сборка штифта с каморой.

При сборке штифта с реактивной каморой могут быть следующие виды брака (рис. 252):

а) перекос штифта в поперечном сечении каморы,

б) перекос штифта в продольном сечении каморы,

в) штифт не находится на одной образующей поверхности каморы,

г) штифт сидит либо слишком глубоко, либо слишком мелко.

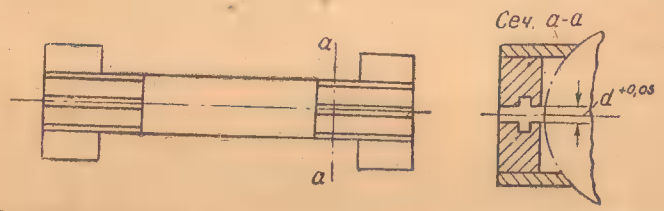


Рис. 251. Прибор для контроля правильности постановки штифтов.

Для подгонки положения штифтов разрешается опиловка стержня штифтов по плоскостям, параллельным плоскости, проходящей через ось каморы и оси штифтов при условии, чтобы плоско-

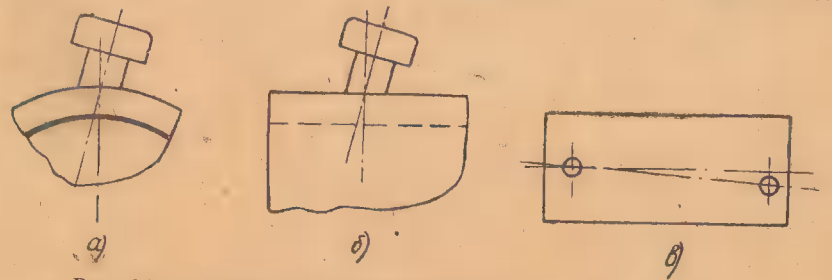


Рис. 252. Возможные случаи брака по постановке штифта.

сти, образующиеся на стержне штифта, после опиловки были шириной не более 2 мм, а диаметр стержня штифта в месте опиловки не выходил бы за пределы 7 класса точности. Также разрешается

местная опиловка нижней поверхности головки штифта для получения размера 4,3 А5 (рис. 250), причем допускается местное уменьшение высоты головки в пределах допуска на ее размер по 8 классу точности.

Корпус пиросвечи завинчивается в камору окончательно, причем фланец корпуса не должен быть ниже наружной поверхности каморы и может выступать не более 0,4 мм (рис. 253), считая по образующей, проходящей через центр пиросвечи. Под корпус пиросвечи для герметичности подкладывается свинцовая прокладка, поджатием которой достигается надлежащее положение корпуса пиросвечи. После окончательного завинчивания фланец корпуса пиросвечи кернится с каморой в двух местах. Затем производится сборка реактивной каморы с деталью крышка-сопло, которая предварительно собирается с диафрагмой.

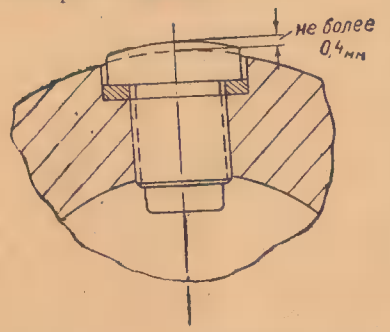


Рис. 253. Схема постановки пиросвечи.

Деталь крышка-сопло, как и другие детали реактивного снаряда, подвергается обезжириванию и очистке от грязи. После этих подготовительных операций происходит сборка отдельных колосников в гнездах детали крышка-сопло. При этом приходится пользоваться молотком, так как колосники должны сидеть плотно и их качание, а также недоход до дна, не допускается. Так как колосники при такой сборке будут выходить за габариты крышки-сопла, то последующей операцией является проточка торцов колосниковой решетки, после чего для надежного крепления колосники кернятся в торец.

Собранная деталь (колосник с крышкой-соплом) промывается спиртом и бензином и первый раз лакируется лаком № 177 с внутренней поверхности крышки-сопла. Сушка производится в специальной каморе при температуре 100°С в течение 18—20 минут до полного высыхания. Затем производится подобным же образом вторая лакировка, причем лак должен лежать сплошным ровным слоем — без пропусков и побелений, отслаивания, пузырчатости и загрязнений. Далее производится зачистка от затёков лака, причем места, не подлежащие лакировке, протираются ветошью, слегка смоченной бензином. Кроме внешнего осмотра, качество лаковой пленки может быть выборочно проверено царапанием деревянным или металлическим острием, при этом отслаивание, расколы и поперечные трещины не допускаются. Можно рекомендовать также лакировку сопла, после того, как оно собрано с реактивной камо-

рой. При этом способе лакировка ведется методом налива и хорошо залакировывается стык каморы с сопловой крышкой.

Затем производится предварительный подбор каморы и сопла по весу и крышка-сопло вворачивается в камору на суриковой замазке. Собранные таким образом детали подвергаются проверке на эксцентричное положение критического и выходного диаметров сопла относительно центрующих поясков каморы. Проверка производится по схеме, изображенной на рис. 254. При этом величина

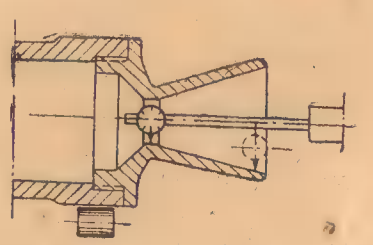


Рис. 254. Проверка на биение критического и выходного сечения сопла.

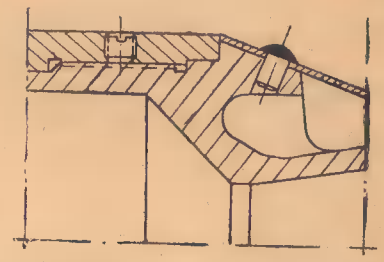


Рис. 255. Соединение обтекателя и крышки-сопла.

биения по критическому сечению допускается не более 0,25 мм и по выходному сечению — не более 0,35 мм. В случае невыполнения этих требований разрешается подбор к каморе другого сопла.

Далее производится посадка стабилизатора на реактивную камору, которые предварительно подбираются по весу.

Стабилизатор должен быть насажен на крышку-сопло таким образом, чтобы имелось определенное соответствие между штифтами и крыльями стабилизатора. Перед посадкой стабилизатора внутренняя поверхность обтекателя окрашивается.

После постановки стабилизатора производится сверление четырех отверстий диаметром 4—5 мм на стабилизаторе и засверловка отверстия под стопор (рис. 255). В просверленные отверстия вставляются 4 шпильки, которые затем завариваются электросваркой. Необходимо следить за тем, чтобы заварка не выступала за калибр снаряда. Также производится нарезка стопорного отверстия и постановка стопора на суриковой замазке. Если стопор выступает за габарит снаряда, разрешается его подпиловка.

Следующая операция это развальцовка буртика выходного отверстия (рис. 256). Так как при развальцовке происходит разрушение лаковой пленки, то надлежит произвести добавочную подлакировку.

После этого у снарядов УК производится заклеивание тангенциальных отверстий бумажными листами внутренней поверхности каморы.

Таким образом, реактивная часть получается окончательно собранной и перед сдачей военпреду проходит всесторонний просмотр ОТК: проверку правильности постановки крыльев, электропроводности свечей, заклейки тангенциальных отверстий изнутри каморы. После сдачи сборки военпреду реактивная часть окрашивается окончательно.

Места, подлежащие шпаклевке, предварительно обтираются бензином и спиртом. Затем шпаклюется стабилизатор, причем шпаклюются все зазоры, стыки, места сварки. После сушки места шпаклевки зачищаются. Реактивная камора по поверхности протирается спиртом и бензином, а затем вся реактивная часть грунтуется серо-голубой масляной краской, причем камора находится в вертикальном положении. Сушится грунтовочный слой при температуре 50 – 70° до полного высыхания.

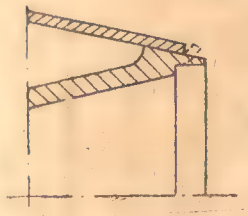


Рис. 256. Развальцовка сопла для крепления обтекателя.

После грунтования по наружной поверхности каморы тесьмой заклеиваются тангенциальные отверстия.

Последняя операция это окраска всего снаряда и тесьмы серо-дикой краской с последующей сушкой в сушильном шкафу при температуре 50—70°.

Окончательно изготовленная реактивная камора маркируется: черной краской по трафарету наносится номер партии, год изготовления, номер завода.

Перед укупоркой собранная реактивная часть окончательно продувается сжатым воздухом, протирается бензином, а места, не подлежащие лакировке (заглушки, штифты, детали пиросвечи), смазываются предохранительной смазкой.

При укупорке в ящики места соприкосновения каморы с вкладышами должны быть завернуты в плотную оберточную бумагу, пропитанную горячим способом парафином или пушечной смазкой. Осевое и боковое перемещения укупоренных изделий не допускается.

Анализ случаев брака в сборочных цехах показывает, что наиболее частыми случаями брака при сборке являются:

1. Непараллельность оси стабилизатора, оси, проходящей через штифты. Причина брака — неправильная посадка стабилизатора.

2. Погнутость крыльев стабилизатора из-за небрежной межоперационной транспортировки. Этот вид брака окончательный и неисправимый.

3. Забоины на направляющих штифтах. Перекосы поставленных штифтов вследствие перекоса резьбы в каморе.

4. Забоины и ржавчина на корпусе боевой части.

5. Качание колосников в крышке-сопло. Этот вид брака исправим добавочным кернением.

6. Отслоение цинка с диафрагмы после кернения.

7. Брак по легковесу происходит из-за невнимательного отношения рабочего при подборе весов. Этот вид брака сравнительно редкий.

§ 49. ТРЕБОВАНИЯ К СНАРЯЖЕННЫМ РЕАКТИВНЫМ СНАРЯДАМ

Окончательная сборка реактивных снарядов заключается в соединении всех элементов снаряда в одно целое — реактивный снаряд.

К отдельным элементам снаряда, поступающим на сборку, предъявляется ряд требований.

Требования к снаряженным головным частям разобраны в § 36.

Основными требованиями к корпусам реактивных частей являются:

1) надежное качество окраски наружных поверхностей,

2) надежное качество лакировки внутренних поверхностей,

3) отсутствие забитостей резьб,

4) наличие стопорных штифтов, отсутствие погнутостей и других дефектов на крыльях и кольцах стабилизаторов.

Основными требованиями к пороховым зарядам, воспламенителям и пиропатронам являются:

1) отсутствие у пороховых зарядов сколов, трещин, загрязнений, закупорки каналов и других дефектов;

2) сохранность картузов из ткани воспламенителей с ДРП и отсутствие механических повреждений на футлярах ВВ-50 и ВВ-75;

3) исправность мостика накаливания у пиропатронов и электрозапалов, проверяемых омметром или индикаторным прибором.

При окончательной сборке снарядов производится контроль наружным осмотром и калибрами. У каждого снаряда производится проверка калибрами следующих элементов: очковой резьбы, гнезда под взрыватель, оперения стабилизаторов, относительного расположения крыльев стабилизаторов и направляющих штифтов, высоты штифтов, выступания контактов пиросвечи.

Кроме того, в собранном снаряде (при вынутом пороховом заряде) проверяется электропроводность цепи пиропатронов и контактов заглушки. При этом сила тока в цепи не должна превосходить 50 миллиампер. Все свинчиваемые детали (боевая часть с реактивной, стопорные винты и т. д.) должны ставиться на сурике или лаке. Все собранные снаряды взвешиваются. Допускаемые весовые отклонения снарядов М-8, М-13 — ± 1,5%, а вес снарядов М-31 должен соответствовать нанесенному на них баллистическому знаку. Точность взвешивания реактивных снарядов примерно 0,05—0,1%.

После исправления дефектов окраски и маркировки снаряды комплектуются в партии, укупориваются, проставляется маркировка на укупорке; снаряды принимаются военпредом и отсылаются на военные базы.

§ 50. АНАЛИЗ ДОПУСКОВ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

1. Общие положения

В понятие технологичности конструкции одной из важнейших составляющей входит выбор и назначение для отдельных деталей и узлов этой конструкции таких допусков и посадок, которые, с одной стороны, обеспечивали бы все конструктивные, тактические и другие требования, и, с другой стороны, были бы наиболее легко изготовляемыми, т. е. относились бы к наиболее низкому классу точности. До недавнего времени назначение допусков велось конструктором «на глазок» и при этом, естественно, имелись случаи, когда назначенные допуски и посадки не удовлетворяли требованиям конструкции. Однако более частым является другой случай, когда конструктор в целях перестраховки ужесточает допуски, что повышает стоимость производства. В технической литературе широко известны кривые гиперболического вида (рис. 257), показывающие увеличение стоимости обработки деталей при повышении класса точности. Известно. что точность, увеличивающая стоимость, не должна быть выше необходимой. Для обоснования назначенных допусков еще совсем недавно, 5 — 8 лет назад, пользовались системой так называемого „максимума-минимума". Сущность этой системы состоит в том, что при расчете подразумевается определенное наихудшее отклонение размеров всех деталей в одну сторону и величины допусков выбираются такими, что даже и при этом неблагоприятном случае допуск всей собранной машины не превосходит предельно-допускаемого. Легко показать, что система «максимума-минимума» приводит к излишнему, ничем не оправданному ужесточению допусков, хотя и гарантирует 100% качество собранного изделия. Появление изделия с односторонним наихудшим отклонением деталей — явление чрезвычайно редкое, что может быть проиллюстрировано на следующем примере.

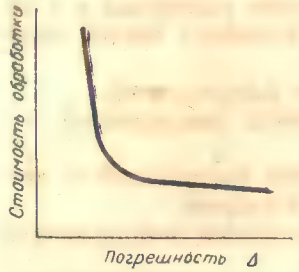


Рис. 257. Зависимость между стоимостью и точностью обработки.

Вес реактивного снаряда зависит от выполнения примерно 40 размеров, причем влияние 10 важнейших размеров может быть оценено в 90—95%. Пусть отклонения этих 10 важнейших размеров имеют всего лишь 3 равных интервала отклонений. Тогда, при ежедневном выпуске 100 000 шт. снарядов 1 снаряд с минимальным допуском будет выходить 1 раз в 3 года. (При этом мы исходим из рассеивания размеров при изготовлении по кривой Гаусса). Если такой снаряд по весу считать забракованным, то, естественно, выгоднее пойти на такой, практически несущественный брак, чем

ужесточать допуски, рассчитывая их по системе «максимум-минимум». Современные методы назначения и обоснования допусков основываются на положении теории вероятности и математической статистики, и для решения этих вопросов трудами советских ученых (академика Бруевича, профессоров Балакшина, Бородачева, Яхина и других) подведена прочная научная база. В научной разработке этих проблем ученые Советского Союза далеко опередили ученых западно-европейских и американских стран. Следует отметить, что до недавнего времени практическое использование полученных результатов являлось явно недостаточным, частично из-за незнакомства конструкторов и технологов с этими вопросами, частично из-за недостатка экспериментального материала. Совершенно бесспорно, что внедрение этих методов расчета допусков — задача первоочередная, так как эти методы дают значительный экономический эффект и облегчают решение многих конструктивных вопросов. Работы академика Бруевича, профессора Бородачева и других относятся главным образом к точным механизмам, причем величины допусков отдельных деталей увязываются с допускаемыми погрешностями при работе этих механизмов.

Бесспорно, что в любом изделии вполне возможно увязать тактико-технические, конструктивные и другие служебные требования изделия с величиной назначаемых допусков на отдельные детали и узлы. Анализируя влияние допусков отдельных деталей на тактико-технические требования к реактивным снарядам, можно заметить, что эти зависимости могут быть сведены к следующим трем основным группам:

1. Зависимости между величинами линейных допусков и допусками на вес всего снаряда. Этот вопрос, применительно к артиллерийским снарядам, подробно рассмотрен в кандидатской диссертации Королева ВВ[1]. Порядок рассмотрения этого вопроса для реактивных снарядов принципиальных отличий не имеет, несмотря на наличие значительно большего количества деталей в реактивном снаряде. Особая необходимость в применении этих методов к реактивным снарядам обосновывается и тем, что, как известно, наличие тонкостенных деталей, каковой является реактивная камора, в значительной степени затрудняет подгонку реактивного снаряда по весу.

2. Зависимости между линейными допусками и величиной геометрического эксцентриситета снаряда, имеющего непосредственное влияние на боковое рассеивание реактивных снарядов и рассеивание по дальности. Насколько нам известно, исследования подобного рода не производились, причем этот вопрос более сложен, чем первый, так как здесь приходится иметь дело с ошибками, не

[1] В. В. Королев, Исследование линейных и весовых допусков артиллерийских снарядов, Артакадемия, 1947 г.

только скалярными, но и векторными, а также рассматривать композиции различных ошибок (законы Гаусса, законы равновероятного распределения ошибок и т. д.).

3. На величины весового допуска и геометрического эксцентриситета влияют линейные допуски всех или почти всех размеров снаряда; кроме того, можно заметить, что в реактивном снаряде имеется еще ряд размеров, допуски которых влияют на некоторые условия работы снаряда независимо от допусков на другие размеры. К таким допускам, например, можно отнести:

а) допуски на внутренний диаметр каморы и критическое сечение сопла, определяющие разброс давления в реактивной каморе;

б) допуск на резьбу очка под взрыватель, определяющий правильность и надежность крепления взрывателя;

в) допуск на резьбовое соединение между каморой и крышкой-соплом, определяющий достаточную надежность от прорыва пороховых газов.

Эти и некоторые другие допуски рассматриваются при изучении отдельных деталей и здесь разбираться не будут.

2. Взаимосвязь между линейными и весовыми допусками

В чертеже снаряда обычно проставляется вес снаряда и дается весовой допуск на его изготовление. Величина допуска на вес определяется тактико-техническими требованиями (увеличение допуска на вес увеличивает рассеивание снарядов).

Если разброс весовых допусков будет большим, необходимо ввести весовые знаки так, как это было введено для снарядов М-31. Однако стрельба реактивными снарядами, имеющими весовые знаки, значительно усложняет снабжение, так как требует формирования партий по знакам.

Обычно допуск на вес дается симметричный и, в зависимости от конструкции и назначения снаряда, колеблется от $\pm 2\%$ веса снаряда в военное время, до $\pm 1\%$ — в мирное время. После изготовления рабочих чертежей снаряда и теоретического подсчета веса снаряда производится корректировка размеров и допусков отдельных узлов и деталей снаряда при постановке снаряда на производстве.

Чертежным весом снаряда обычно называют вес, проставленный в чертеже и заданный тактико-техническими требованиями (или конструктором). Если при изготовлении опытной партии средний вес снарядов будет получаться отличным от чертежного веса, то необходимо вести корректировку размеров, а при несоблюдении весовых допусков необходимо вести корректировку линейных допусков. Так, например, если задан вес снаряда 50 кг $\pm 1\%$, а при изготовлении опытной партии получилась величина 48,5 кг $\pm 1{,}5\%$,

то необходимо увеличить размеры некоторых деталей и уменьшить величину допусков, т. е. вести корректировку как по размерам, так и по допускам. Здесь мы будем разбирать вопрос только о весовом допуске, так как нахождение нужных линейных размеров для получения заданного чертежного веса каких-либо принципиальных трудностей не представляет.

Колебания в размерах весового допуска зависят от рассеивания действительных размеров отдельных деталей, от рассеивания удельного веса металла и от искажения геометрических форм отдельных деталей (овальность, огранка, конусность, бочкообразность). Практически наибольшее влияние оказывает рассеивание действительных размеров детали, а поэтому мы разберем случай колебания весовых допусков, в связи с колебанием линейных допусков.

Так как в общем весе реактивного снаряда обычно вес оболочки составляет 60—80%, то мы будем рассмаривать колебания веса оболочки. Нетрудно показать, что учет колебания веса ВВ и порохового заряда может быть проведен теми же методами, которые употребляются для учета колебания веса корпуса реактивного снаряда.

В производстве могут встретиться 3 случая:

1. Допуски на размеры оболочки назначаются более жесткие, чем допуск на вес оболочки снаряда (это может встретиться главным образом у толстостенных, например, у бронебойных снарядов). В этом случае разумно, если нет каких-либо добавочных требований, для облегчения производства увеличить допуски на размеры.

2. Допуски на размеры соответствуют допуску на вес. Этот случай практически редкий, так как при таком соответствии линейных и весовых допусков значительное влияние оказывает изменение удельного веса отдельных плавок.

3. Допуски на размеры оболочки снаряда назначены менее жесткие, чем весовые допуски. В этом случае при производстве снарядов технологам приходится ужесточать («зажимать») отдельные допуски, чтобы колебания веса снаряда не выходили из заданного. В некоторых же случаях (при изготовлении тонкостенных деталей, например реактивных камор), колебания веса снаряда настолько велики, что если бы мы пожелали выдержать весовой допуск в приемлемых для снарядов пределах, то нам бы пришлось работать по чрезвычайно высокому классу точности. Поэтому для таких тонкостенных деталей допуск на вес не назначается, а обычно при сборке пользуются либо подбором, либо подгонкой снаряда по весу.

При определении весового допуска снаряда нам прежде всего приходится сталкиваться с вопросом о необходимой точности определения этого допуска.

Вес артиллерийского снаряда принято записывать четырьмя значащими цифрами:

Например $q_{чер} = 48{,}37$ кг.

Желательно, чтобы величина весового допуска была подсчитана с точностью не менее 5%.

Введем понятие предельный допуск — $\Delta q_{пр}$, который будет равняться разности между наибольшим весом снаряда (выполненным, например, по номиналу в системе отверстия) и наименьшим весом снаряда (выполненным при условии, что допуск, расположенный обычно в тело, полностью использован).

Следовательно,

$$\Delta q_{пр} = q_{max} - q_{min}.$$

Если величина весового допуска $\pm 1\%$, то, очевидно,

$$\Delta q_{пр} = 0{,}02\ q_{чер}.$$

Так как при определении величины q_{max} и q_{min} приходится иметь дело с пяти-, а иногда и шестизначными числами, то, допустив неточность при определении q_{max} и q_{min} в 1/1000 и если эта ошибка различного знака, относительная погрешность в определении весового допуска будет составлять:

$$\text{относительная погрешность} = \frac{\text{абсолютной погрешности}}{\text{абсолютный вес}} =$$

$$= \frac{\Delta q_{max} + \Delta q_{min}}{\Delta q_{пр}} \approx \frac{0{,}001 \cdot q_{чер} + 0{,}001 \cdot q_{чер}}{0{,}02\ q_{чер}} = 1/10\ (10\%).$$

Практически при определении q_{max} и q_{min} ошибка может быть получена даже большая, чем 1/1000. Поэтому метод определения величины допуска по разнице весов, определяемых крайними предельными размерами, является явно непригодным.

Такие большие погрешности, при вычислении сравнительно малых величин, мы получаем почти всегда, если берем разность больших величин. Чтобы избегнуть получения таких ошибок необходимо находить величину допуска либо как сумму некоторых малых величин, либо как произведение некоторых величин.

В этом случае целесообразно изобразить в сечении снаряда (рис. 258) величину поля допуска на отдельных его элементах (цилиндрическая часть, конусная, оживальная) и определять величину предельного весового допуска снаряда, как сумму весов отдельных геометрических фигур, определяемых величиной допуска. Объем этих элементарных фигур может быть найден либо дифференцированием некоторой функции, либо по правилу Гюльдена.

Например, если вес всего снаряда зависит от ряда диаметральных размеров a_i и размеров по длине b_i

$$q = F(a_1, a_2, a_3 \ldots b_1, b_2, b_3 \ldots),$$

то величина предельного допуска

$$\Delta q_{пр} = \sum \frac{\partial F}{\partial a_i} \Delta a_i + \sum \frac{\partial F}{\partial b_i} \Delta b_i .$$

Рис. 258. Эпюра линейных допусков снаряда.

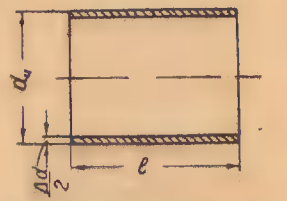


Рис 259. Линейный допуск на цилиндрической части.

Таким образом, предельный весовой допуск на весь снаряд будет состоять из весовых допусков на отдельные элементы одного или нескольких цилиндров, усеченного конуса, оживальной части и т. д.).

При этом величина $\sum \frac{\partial F}{\partial a_i} \cdot \Delta a_i$ представляет часть предельно-возможного допуска на вес оболочки, отвечающая диаметральным допускам, а $\sum \frac{\partial F}{\partial b_i} \Delta b_i$ — часть предельно-возможного допуска на вес оболочки снаряда, отвечающая допускам на длину.

Определение весовых допусков по отдельным элементам как по наружному, так и по внутреннему контуру может быть произведено следующими приемами:

а) объемный допуск на цилиндрическую часть (рис. 259)

$$V_ц = \frac{\pi \cdot d_ц^2}{4} \cdot l,$$

$$\Delta V_ц = \frac{\pi d_ц l}{2} \Delta d, \qquad (56)$$

где Δd — допуск на диаметр цилиндра.

б) Объемный допуск на конусную часть (рис. 260)

$$V_к = \frac{1}{3}\pi l \frac{d_1^2 + d_1 \cdot d_2 + d_2^2}{4}$$

$$\Delta V_к = \frac{1}{3}\pi l\left(\frac{2d_1 + d_2}{4}\Delta d_1 + \frac{d_1 + 2d_2}{4}\Delta d_2\right).$$

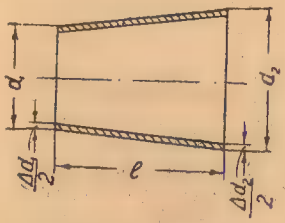


Рис. 260. Линейный допуск на конусной части.

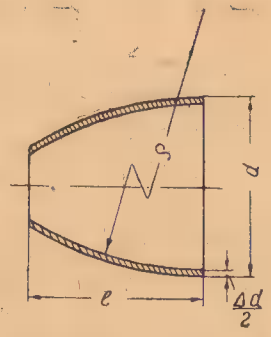


Рис. 261. Линейный допуск на оживальной части.

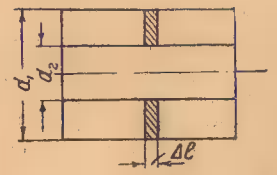


Рис. 262. Линейный допуск на длину снаряда.

Обычно величины допусков

$$\Delta d_1 = \Delta d_2 = \Delta d.$$

Следовательно,

$$\Delta V_к = \frac{1}{4}\pi l(d_1 + d_2)\Delta d. \qquad (57)$$

При этом величина Δd зависит от метода обработки конуса. Если обработка конуса ведется по копиру, то, как правило, фактический допуск по диаметру конуса равен фактическому допуску на цилиндрическую часть снаряда. Если же конус обрабатывается с поворотного супорта, то фактические величины допусков на цилиндрической и конической частях могут быть различными.

в) Допуск на оживальную часть (рис. 261) может быть проще всего найден по правилу Гюльдена. Нетрудно показать, что величина объемного допуска на оживальной части может быть определена по формуле

$$\Delta V_0 = \frac{1}{4}\pi l\left(d_1 + d_2 + \frac{1}{3}\frac{l^2}{\rho}\right)\Delta d. \qquad (58)$$

г) Объемный допуск, зависящий от колебания размера на длину (рис. 262),

$$\Delta V_л = \frac{\pi}{4}(d_1 - d_2)\Delta l. \qquad (59)$$

Формулы (56 — 59) позволяют определить величины предельных весовых допусков для отдельных элементов снаряда, так как $\Delta q_{пр} = \gamma \Delta V_{пр}$.

Сумма предельно-возможных допусков отдельных элеметарных фигур даст величину предельно-возможного допуска на весь снаряд в целом. Назначать весовой допуск для всего снаряда в целом, равным предельно-возможному допуску, будет нецелесообразно, так как практически получение отдельных размеров снаряда предельными является чрезвычайно редким случаем. Поэтому правильно будет назначить для снаряда не предельно-возможный, а вероятный допуск, определение которого основывается на следующих положениях. В массовом производстве размеры отдельных деталей отличаются друг от друга в пределах заданных допусков. Каждый размер в любом снаряде имеет ряд значений d_1, d_2, d_3... и т. д. Ряд исследований показывает, что совокупность этих размеров зависит от случайных ошибок и подчиняется закону распределения Гаусса. Случайными причинами, влияющими на рассеивание действительных размеров отдельных деталей, являются:

1. Погрешности оборудования — неточности кинематической цепи станка, деформации деталей станка, колебания и вибрация станка, ненормальные зазоры, неправильности в подаче смазки.

2. Колебания в режиме работы — изменения скорости резания и подачи, нагрев инструмента и детали.

3. Погрешности инструмента—износ и недостаточная жесткость инструмента, затупление режущих кромок, пригар.

4. Недостатки рабочего приспособления—неправильность оправок, цанг, нестабильность установки.

5. Неоднородность материала изделия—колебания химического состава, колебания механических свойств, внутренние трещины, разные величины припусков.

6. Ошибки рабочего при настройке станка, установке инструмента, снятии пробной стружки, ошибки при пользовании измерительным инструментом.

Эти и ряд других причин являются случайными, а поэтому, как доказывается теоретически, рассеивание размеров должно подчиняться закону Гаусса.

Совокупность множества отклонений действительных размеров будет характеризоваться:

1) средним арифметическим отклонением (математическое ожидание)

$$d_{ср} \frac{d_1 + d_2 + \ldots . d_n}{n} = \sum \frac{d_i}{n};$$

2) средним квадратичным отклонением

$$\sigma = \sqrt{\frac{(d_1 - d_{ср})^2 + (d^2 - d_{ср})^2 + \ldots . (d_n - d_{ср})^2}{n}} =$$

$$= \sqrt{\sum \frac{(d_i - d_{ср})^2}{n}} .$$

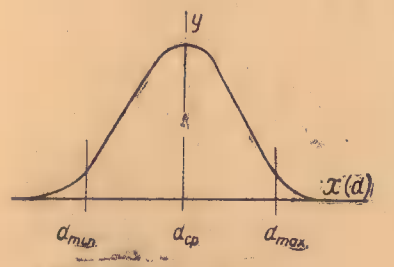


Рис. 263. Кривая Гаусса.

На рис. 263 изображена кривая Гаусса, определяющая частоту появления отдельных размеров детали в пределах заданного допуска. Уравнение кривой Гаусса имеет вид

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{(x - d_{ср})^2}{2\sigma^2}} .$$

Если в партии, состоящей из N деталей, необходимо определить число деталей n, размеры которых не выходят за пределы d_{min} и d_{max}, то следует воспользоваться формулой:

$$n = N \cdot \text{Вероятность } (d_{min} < d < d_{max})$$

или же

$$n = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{d_{min}}^{d_{max}} e^{-\frac{(x - d_{ср})^2}{2\sigma^2}} dx. \qquad (60)$$

Таблицы значений интеграла в формуле (60) для различных значений σ, $d_{ср}$ и пределов d_{max} и d_{min} были бы чрезвычайно громоздкими. Поэтому, положив в интеграле $d_{ср} = 0$ и сделав подстановку $Z = \frac{x}{\sigma}$, получим

$$n = \frac{N}{\sqrt{2\pi}} \int_{z_{min}}^{z_{max}} e^{-z^2} dZ,$$

причем

$$Z_{min} = \frac{d_{min} - d_{ср}}{\sigma},$$

$$Z_{max} = \frac{d_{max} - d_{ср}}{\sigma}$$

или же окончательно

$$n = N[\Phi(Z_{min}) - \Phi(Z_{max})].$$

Таблицы значений интегралов

$$\Phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^Z e^{-\frac{Z^2}{2}} dZ$$

приводятся во всех курсах теории вероятностей.

Так как нами принято симметричное расположение допуска относительно $d_{ср}$, то, очевидно,

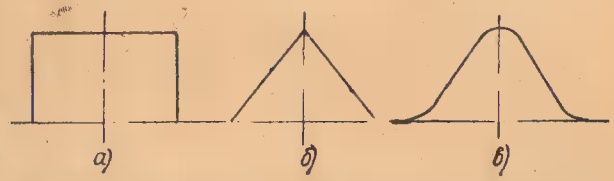


Рис. 264. Возможные законы распределения погрешностей.

$$\Phi(Z_{min}) = -\Phi(Z_{max}).$$

Полная величина поля допуска

$$\Delta = d_{max} - d_{min}.$$

Величину $\frac{\Delta}{\sigma} = K$ называют коэффициентом экономической точности изготовления изделий. Чем меньше величина K, тем больший разброс получается при изготовлении деталей. В практике обычно принято значение $\frac{\Delta}{\sigma} = 6$. В этом случае $Z = \frac{\Delta}{2 \cdot \sigma} = 3$.

При этом число деталей, лежащих в поле допуска, определяется величиной $n = 2N \cdot \Phi(Z) = 2N \cdot \Phi(3) = 2N \cdot 0{,}49865 = 0{,}9973N$, т. е. 0,27% считается вышедшими из размера (брак). Эта цифра брака (часть из него является исправимой) считается практически приемлемой, так как выбор $K > 3$ заставит производство работать в более тяжелых условиях. В дальнейшем при определении допусков нами будет использоваться условие $\Delta = 6\sigma$.

Перейдем теперь к рассмотрению практических результатов рассеивания отдельных размеров на деталях реактивного снаряда. Непосредственные измерения показывают, что закон рассеивания действительных размеров может быть увязан (конечно примерно) с классом точности изготовления детали. Так, при очень высоких точностях изготовления деталей (1—2 класс) закон распределения ближе всего подходит к закону равной вероятности (рис. 264,*а*), при точности изготовления по 3—4 классу кривая распределения приближается к кривой Симпсона (рис. 264,*б*), а при точностях изго-

товления ниже 4 класса кривые распределения ближе всего подходят к кривой Гаусса (рис. 264,*в*). На рис. 265 построена действительная и теоретическая кривые Гаусса, характеризующие изменение размера наружного диаметра боевой части снаряда М-13 [1]. Эта кривая построена по результатам обмера 250 деталей. Весь допуск был разбит на 11 диапазонов и были подсчитаны частоты (безразлично, абсолютные или относительные) получения размеров в различных диапазонах. Изображая полученные частоты в виде соответствующих прямоугольников и соединяя средины прямоугольников прямыми линиями, получим некоторую ломаную линию — фактическую кривую распределения действительных размеров (кривая *а*).

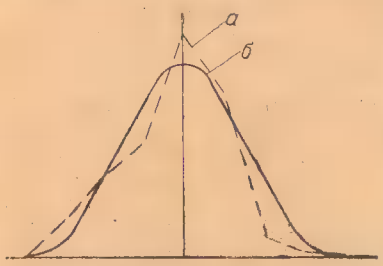


Рис. 265. Опытная и теоретическая кривая размеров наружного диаметра боевой части.

Для сравнения действительной кривой рассеивания и теоретической кривой Гаусса необходимо по результатам замеров найти математическое ожидание и среднюю квадратическую ошибку. Затем, определив по соответствующим формулам [2] масштабы погрешностей (по оси абсцисс) и масштабы частот (по оси ординат), можно в одном и том же масштабе изобразить опытную кривую распределения и теоретическую кривую (кривая *б* на рис. 265).

В результате сравнения кривых действительного и теоретического распределения, мы видим их достаточно близкое совпадение, так что можно принять, с достаточной для практики точностью, закон распределения действительных размеров, совпадающих с законом распределения Гаусса.

До сих пор мы говорили о применимости закона Гаусса к рассеиванию линейных величин. Нетрудно показать, что этому же закону подчиняется рассеивание весовых отклонений деталей снаряда.

В самом деле, в полученных нами ранее формулах 56 — 58, независимо от конфигурации детали, можно принять

$$\Delta V = a l d_0 \Delta d,$$

при этом a — константа,

l — неизменяемая длина изделия,

d_0 — приведенный диаметр, величина которого зависит от конфигурации детали. Величина d_0 хотя и изменяется от детали к детали в одной партии, но относительные изменения ее невелики, так как величина допуска, по сравнению с величиной самого размера, мала. Поэтому принимаем $d_0 \approx \text{const}$ и тогда $\Delta V = \text{const}\,\Delta d$.

[1] Кривые построены на основе измерений, произведенных капитаном Г. А. Лощиловым. Артакадемия, 1948 г.

[2] Метод обработки результатов замеров, ошибки которых подчиняются закону Гаусса, даны, например, в книге Г. А. Апарина и И. Е. Городецкого, «Допуски и технические измерения».

А так как уже показано, что величина Δd изменяется по закону Гаусса, то изменение объема, а следовательно, и веса каждой элементарной фигуры происходит по закону Гаусса.

Итак, если Δ_1 — максимальный линейный допуск на размер детали, то $\frac{\Delta_1}{K}$ — средняя квадратическая ошибка на линейный допуск. Аналогично, если Δq_1 — предельно-возможный допуск на вес детали, зависящий от линейного допуска, то $\frac{\Delta q_1}{K}$ — средняя квадратическая ошибка на весовой допуск.

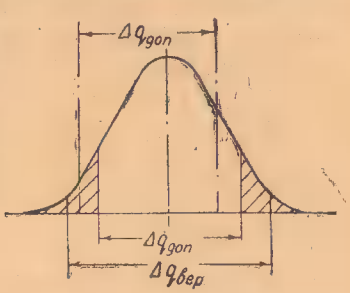


Рис. 266. Соотношение между $\Delta q_{вер}$ и Δq допуск.

Из теории вероятностей следует, что средняя квадратическая ошибка совокупности величин, каждая из которых подчиняется закону Гаусса, может быть найдена квадратичным сложением средней квадратической ошибки каждой величины, т. е.

$$\sigma_{вес} = \frac{\Delta q_{вер}}{K} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \ldots \sigma_n^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta q_1}{K}\right)^2 + \left(\frac{\Delta q_2}{K}\right)^2 + \ldots \left(\frac{\Delta q_n}{K}\right)^2}.$$

Таким образом,

$$\Delta q_{вер} = \sqrt{\Delta q_1^2 + \Delta q_2^2 + \ldots \Delta q_n^2},$$

где Δq_n — предельно возможный допуск на отдельные элементарные объемы.

Величина $\Delta q_{вер}$ и является тем весовым допуском, при назначении которого количество бракованных изделий не должно выходить за определенный, заранее установленный предел. Если допускаемый весовой допуск ($\Delta q_{доп}$) будет отличаться от вероятного допуска, то, в зависимости от соотношения этих величин, мы будем получать тот или иной процент брака, определить который, пользуясь кривыми Гаусса, можно следующим образом.

При $\Delta q_{доп} < \Delta q_{вер}$ (рис. 266) часть деталей (заштрихованная площадь) будет выходить за пределы $\Delta q_{доп}$ и поэтому получатся бракованые изделия, причем часть из них будут легковесы, а часть — тяжеловесы. Для определения процента брака определяют величины:

$$\sigma = \frac{\Delta q_{вер}}{K};$$

$$Z = \frac{\Delta q_{доп}}{\sigma}.$$

Затем по формуле $n_{бр} = N[1 - 2\Phi(Z)]$ определяется количество бракованных деталей. При симметричном $\Delta q_{доп}$ одинаковое количество деталей будет итти как в легковесы, так и в тяжеловесы. Так как легковес не может быть исправлен и идет в окончательный брак, а тяжеловесы могут быть исправлены добавочной механической обработкой, то бывает иногда разумным допуск $\Delta q_{доп}$ расположить несимметрично относительно $\Delta q_{вер}$ (на рис. 266

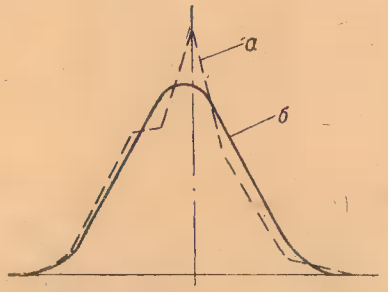


Рис. 267. Опытная и теоретическая кривая веса боевой части.

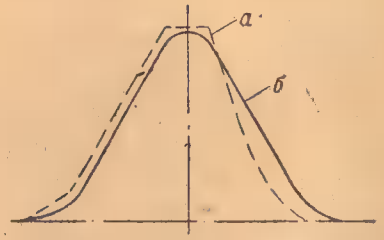


Рис. 268. Опытная и теоретическая кривая веса корпуса Р. С.

изображено пунктиром). В этом случае уменьшится количество легковесов и возрастет число деталей, у которых необходимо снять слой металла для подгонки их по весу.

В заключение укажем, что приведенные здесь зависимости между линейными и весовыми допусками получили достаточно хорошее практическое подтверждение в том смысле, что распределение весовых допусков реактивных снарядов достаточно точно соответствует закону Гаусса. На рис. 267 и 268 изображены действительные и теоретические кривые распределения веса боевой части и веса всего снаряда в целом.

Дальнейшие исследования в этой области должны касаться введения уточняющих поправок на искажение геометрической формы отдельных деталей реактивных снарядов, так как практика показала, что хотя эти искажения (конусность, овальность) укладываются в пределы назначенных допусков, их влияние на весовой допуск снаряда достаточно велико.

В отечественных реактивных снарядах, в частности в снаряде М-13, величина вероятного весового допуска, как функции линейных допусков, определенных изложенным выше методом, соответствует весовому допуску, назначаемому с учетом тактико-технических требований только для толстостенных деталей (боевая часть, дно).

Для тонкостенных деталей (реактивная камора, стабилизатор) вероятный весовой допуск в 2½—3 раза превосходит величину весового допуска, который следовало бы задать, исходя из тактико-технических требований. Поэтому весовые допуски на тонкостенные детали не проставляются, а при сборке реактивной части снаряда приходится пользоваться методом подборки отдельных деталей, чтобы общий вес реактивной части не выходил из заданных допусков. Практика показывает, что больших трудностей этот метод работы не представляет. В некоторых случаях для выдерживания весового допуска целесообразно все же применять ужесточенные технологические допуски.

3. О величине геометрического эксцентриситета снаряда

Считая, что реактивная сила приложена в центре критического сечения сопла и вдоль оси сопла, будем называть геометрическим эксцентриситетом смещение центра тяжести всего снаряда относительно оси сопла. Несмотря на важность знания величины геометрического эксцентриситета, поскольку эта величина непосредственно влияет на рассеивание снарядов, до сих пор не существует

Рис. 269. Схема соединения деталей реактивного снаряда.

практически приемлемых теоретических или практических методов для определения величины геометрического эксцентриситета. Метод, основанный на результатах обработки данных стрельб, приводит к определению суммарного газодинамического и геометрического эксцентриситетов и расчленение их на единичные составляющие невозможно.

При сборке снарядов производится проверка биения критического сечения сопла относительно центрующих утолщений снаряда, описанная в § 48. Однако такая проверка ни в коей мере не характеризует геометрический эксцентриситет, так как очевидно, что разностенность реактивной каморы, концентричность соединения боевой и реактивной частей здесь не учитываются.

Ввиду трудностей, встречающихся при теоретическом определении геометрического эксцентриситета снаряда и невозможности проверки полученных результатов экспериментальным путем, покажем только принципиальные возможности определения геометрического эксцентриситета.

Представим себе снаряд, состоящий из трех основных деталей — боевой части, реактивной части и крышки сопла (рис. 269). Примем ось критического сечения сопла за начальную ось координат и будем отсчитывать от этой оси отклонения центров тяжести отдельных деталей.

По величине смещения центра тяжести отдельных деталей и их весу нетрудно затем будет найти смещение центра тяжести всего снаряда.

Смещение центра тяжести снаряда относительно оси сопла может вызываться следующими тремя основными причинами:

1. Параллельным смещением относительно оси крышки-сопла, оси реактивной каморы ■ оси боевой части (рис. 270).

Рис. 270. Схема смещения оси боевой части и оси реактивной каморы.

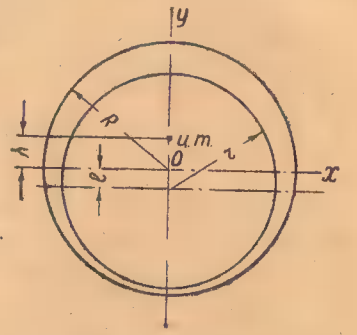


Рис. 271. Определение величины смещения ц. т. при заданном эксцентриситете.

Величина параллельного смещения оси реактивной каморы относительно оси крышки зависит от разности центрующих диаметров ($d_ц$ на рис. 269) на сопле и каморе. Так как допуски на центрующие диаметры сопла и крышки известны, то определение величины смещения (точнее — средней арифметической и средней квадратической ошибок) каморы относительно сопла не представляет каких-либо трудностей. Аналогично может быть определено смещение оси бовой части отнесительно оси рактивной каморы.

Значительно труднее определить смещение оси боевой части относительно оси крышки-сопла. В этом случае положение оси боевой части зависит от величины смещения реактивной каморы относительно крышки-сопла и от величины смещения и положения боевой части относительно реактивной каморы. В частном случае, даже при наличии смещения между каморой и соплом и между каморой и боевой частью, может оказаться, что смещение между боевой частью и соплом будет равно нулю.

2. Смещение центра тяжести снаряда из-за эксцентричного изготовления наружных и внутренних диаметров. Из-за различия баз при обработке наружных и внутренних диаметров получается разностенность цилиндрических деталей. Зная допускаемую величину разностенности, а следовательно, и величину эксцентриситета, нетрудно определить величину смещения центра тяжести из следующих очевидных соотношений (рис. 271)

$$\lambda = \frac{er^2}{R^2 - r^2}, \qquad (61)$$

где:

λ — смещение центра тяжести плоской фигуры, относительно оси x,

e — эксцентриситет.

Формула 61 показывает, что наибольшее смещение центра тяжести получается ■ том случае, когда разница между R и r незначительная, что имеет место для тонкостенных деталей (например, для реактивной каморы). Величина смещения центра тяжести реактивной каморы и боевой части из-за разностенности может быть подсчитана по формуле 61. Направление вектора смещения подчиняется закону равной вероятности.

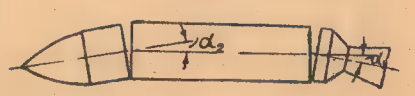


Рис. 272. Схема перекоса осей боевой части ■ реактивной каморы.

3. Смещение центра тяжести снаряда из-за перекоса осей (рис. 272). Перекос осей происходит из-за наличия зазоров в местах сопряжений (по диаметру $d_ц$, рис. 269) и неперпендикулярности торцов детали к ее геометрической оси (например, торец a на рис. 269). Перекос торца детали относительно ее оси определяется точностью работы станка. При обработке на токарных станках неперпендикулярность торцов допускается 0,03—0,05 мм на длине 100 мм. Величина перекоса может быть также найдена по величине биения в критическом и выходном сечениях крышки-сопла. Определив значение углов α_1 и α_2, можно найти величину смещения центра тяжести.

Таким образом, определение отдельных составляющих полного эксцентриситета не представляет каких-либо затруднений. Однако сложение этих составляющих представляет безусловные трудности, так как задача о суммировании ошибок, равновероятных по направлению, величина которых следует закону Гаусса, еще не имеет решения. Поэтому для определения величины геометрического эксцентриситета в качестве первого приближения можно рекомендовать следующий способ. По величинам смещения центра тяжести отдельных деталей, зависящих от различных факторов, определяется величина максимального смещения центра тяжести всего снаряда относительно оси сопла, равная максимальному геометрическому эксцентриситету. Величина действительного эксцентриситета, как показывают некоторые теоретические расчеты [1], равна 0,6—0,7 величины максимального эксцентриситета.

[1] Й. Л. Калихман, Об одной задаче теории ошибок, Известия Артакадемии, т. 57.

§ 51. ПРИМЕНЕНИЕ ТРУБ В ПРОИЗВОДСТВЕ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Конфигурация деталей реактивного снаряда, а именно: реактивной каморы, боевой части, имеющей значительно меньшую толщину стенки, чем у снарядов ствольной артиллерии, крышки-сопла и других деталей позволяют утверждать, что одним из эффективных методов создания технологических, а следовательно, и более дешевых конструкций реактивных снарядов, является применение труб для изготовления таких тонкостенных деталей. При этом, в ряде случаев трубы могут не обрабатываться внутри (аналогично боеприпасам ствольной артиллерии с черной каморой), что в сильной степени удешевляет производство деталей реактивного снаряда. Как известно, трубы могут изготавливаться либо сварными, либо цельнотянутыми. Сварные трубы менее прочны, они выдерживают давление порядка 20—25 атм, а потому их можно применять только для изготовления боевой части. Реактивная камора, крышка-сопло, работающие при давлениях порядка 100—300 кг/см² (а в противотанковых системах до 800—1 000 кг/см²), должны изготавливаться из цельнотянутых углеродистых или легированных стальных труб и в необходимых случаях — термообработанных. При рассмотрении вопроса рационального применения труб без дополнительной механической обработки необходимо учесть возможности трубопрокатного производства и требуемые конструктивные формы деталей реактивного снаряда. Вопросами, подлежащими рассмотрению и определяющими применимость труб для изготовления деталей реактивных снарядов, являются:

1) размеры нормальных цельнотянутых труб,

2) точность цельнотянутых труб,

3) удобство крепления к деталям, изготовленным из труб сопряженных деталей.

Согласно ГОСТ 301-44 бесшовные трубы изготавливаются из углеродистой и легированной сталей, горячекатанные и холоднотянутые, нормальной и повышенной точности. По специальному требованию потребителя трубы могут быть изготовлены из углеродистых или легированных сталей любых марок по ГОСТ.

Размеры труб, выпускаемых отечественной промышленностью, вполне удовлетворяют реактивную технику.

Например, по ГОСТ 301-44, при наружном диаметре трубы 70 мм толщина стенок колеблется от 1,5 до 16 мм, что составляет 0,02—0,23 наружного диаметра. При наружном диаметре трубы 200 мм толщина стенок колеблется от 4,5 до 26 мм, что составляет 0,02—0,13 наружного диаметра. Толщина стенок реактивной каморы составляет 0,02—0,05 калибра, толщина боевой части у фугасных снарядов составляет 0,02—0,03 калибра, а у осколочно-фугасных снарядов ≈ 0,1 калибра.

Длина труб значительно больше 20 диаметров — предельного значения длины каморы в реактивном снаряде.

Точность изготовления труб общего назначения является недостаточной для изготовления деталей реактивного снаряда без дополнительной обработки, и лишь стальные бесшовные автотракторные трубы (ГОСТ 1459-43) особо высокой точности приближаются к точности, необходимой для изготовления реактивной каморы либо боевой части. Так, для автотракторных труб допуск по наружному диаметру (для труб с наружным диаметром более 50 мм) равняется ± 0,5%, что примерно соответствует 7—8 классу точности — для диапазона диаметров 100—150 мм и примерно 8 классу точности — для диапазона диаметров 200—300 мм.

Известно, что допуск на наружный диаметр реактивных камор должен выбираться примерно по 5 классу точности. Трубопрокатные заводы по согласованию с заказчиком могут поставлять трубы, обточенные по наружному диаметру с допуском ± 0,25 мм, что составляет более грубый класс точности, чем пятый для труб с диаметром до 120 мм и более высокий класс точности, чем пятый для труб с диаметром более 120 мм.

Согласно ГОСТ 301-44 только один из диаметров (наружный или внутренний) изготавливается по определенному классу точности. Например, если внутренний диаметр трубы изготовлен по 7 классу точности и имеются колебания в толщине стенки трубы, то точность наружного диаметра лежит в пределах 8—9 класса точности. Поэтому, в большинстве случаев, при изготовлении деталей реактивных снарядов из цельнотянутых труб, там где один из диаметров (безразлично наружный или внутренний) не обрабатывается, противоположный диаметр должен иметь механическую обработку.

Точность по толщине стенки для труб высокой точности изготовления лежит в следующих пределах:

для труб с толщиной стенки от 1 до 3 мм ± 10 %

для труб с толщиной стенки свыше 3 мм $\begin{cases} +15\ \%, \\ -10\ \% \end{cases}$

Трубы, обточенные снаружи, имеют колебания в толщине стенки 15%. Если выполнить реактивную камору по 5 классу точности по наружному диаметру и по 7 классу точности по внутреннему диаметру, то колебания толщины стенки лежат в пределах 15—20%; таким образом, величина допуска на толщину стенок трубы не всегда может считаться приемлемой для реактивной техники, что вызывает необходимость в механической обработке.

Следует указать, что трубопрокатные заводы по условиям производства, как правило, дают наружный диаметр более точным, чем внутренний.

Допуски по искажению формы (овальность и разностенность), по существующим ГОСТ, не должны выводить их размеры за пре-

делы допускаемых отклонений по наружному диаметру и толщине стенки. Сравнительно простая технологическая операция — протяжка разрезной конусной оправкой, либо стальными калеными шариками по внутреннему диаметру, как показали опыты, сильно уменьшает овальность, доводя ее на трубах диаметра 100—150 мм до 0,2 мм.

При анализе допусков, было показано, что линейные допуски влияют на весовые допуски снаряда и его эксцентриситет. Линейные допуски, по которым изготавливается реактивная камора, не обеспечивают получение необходимых весовых допусков, а поэтому реактивная камора, изготовленная из трубы без механической обработки, должна подбираться по весу с другими деталями. Толстостенные детали, как например корпус боевой части осколочных и осколочно-фугасных снарядов, хотя и будут иметь весовые колебания, но они легко могут быть подогнаны по весу снятием добавочной стружки.

Таким образом, размеры и точность цельнотянутых труб допускают их рациональное использование для изготовления деталей реактивных снарядов либо без механической обработки, либо с обработкой только по одному из диаметров, что и подтверждается, хотя и немногочисленной, но вполне убедительной практикой. Каморы снарядов М-31, «Тайфун», изготовленные из бесшовных труб, вполне отвечают своим служебным требованиям, а стоимость их изготовления в несколько раз дешевле, чем камор, изготовленных из труб снятием стружки на станке по наружному и внутреннему диаметрам.

Что касается причин, влияющих на точность прокатываемых труб, то, ввиду их большого разнообразия (примерно 15—20 главнейших факторов), здесь мы их рассматривать не будем. Укажем, однако, на непрерывный прогресс в технике трубопрокатки и упомянем о возможности так называемой «прокатки на минус». Все приводимые допуски труб на точность делаются симметричными (±); в то же время имеются возможности вести прокатку только на минус, при этом величины допусков будут уменьшены вдвое.

Механические свойства труб, применение которых наиболее вероятно в реактивной технике, видны из табл. 28.

Таблица 28

Марка стали	Временное сопротивление разрыву	Предел текучести	Диаметр отпечатки по Бринелю (мм)
20	40	—	4,7
45	60	32	4,2
40Х	63	—	4,1
30ХГСА	70	—	—
40ХМЮА	—	85	3,3—3,6

Одним из существенных вопросов, подлежащих рассмотрению при использовании труб, является возможность крепления к деталям, изготовленным из тонкостенных труб сопряженных деталей. Места сопряжения должны быть утолщенные, так как они нарезаются. Решить этот вопрос можно, повидимому, применяя сварные конструкции, некоторые из которых были показаны при рассмотрении конструкций реактивных камор. На рис. 273 показана конструкция соединения, обладающего достаточной герметичностью и прочностью. Конец каморы растачивается по 3 или 4 классам точности, в нее запрессовывается втулка, после чего детали могут быть сварены точечной сваркой. Благодаря этому даже термообработанная труба не получит каких-либо значительных изменений в структуре. Современные аппараты точечной сварки позволяют сваривать детали, совместная толщина которых (размер „а“) = 6—8 мм.

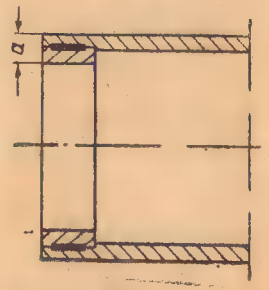


Рис. 273. Схема приварки втулки к трубе.

§ 52. ПРИМЕНЕНИЕ СКОРОСТНЫХ МЕТОДОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Развернувшееся в нашей стране, по инициативе передовых стахановцев, движение по применению скоростных и сверхскоростных режимов резания при обработке металлов заслуживает самого пристального внимания для внедрения этих методов в производстве деталей реактивных снарядов. В первую очередь эти методы должны получить применение для изготовления наиболее трудоемких деталей реактивных снарядов — реактивной каморы, сопловой крышки и корпуса боевой части. Конфигурация этих деталей, наличие большого количества резьб позволяет предполагать, что в первую очередь должны быть внедрены в производство методы скоростного нарезания резьбы и методы скоростного точения металлов. Разберем более подробно названные методы.

1. Скоростной метод нарезания резьбы

Существующие методы обработки резьбы могут быть разделены на следующие группы:

1) нарезание резьбы резцами;

2) нарезание резьбы многолезвийными инструментами (гребенками, метчиками, плашками, резьбовыми фрезами);

3) накатывание резьбы.

В производстве реактивных снарядов наибольшее распространение имеет резьбофрезерование, так как нарезание резьбы резцами

малопроизводительно и требует высокой квалификации работающего, а нарезание метчиками, плашками или накатывание резьбы на деталях реактивного снаряда невозможно по их конфигурации и размерам.

В последние годы разработан метод скоростного нарезания резьбы, производимого при помощи несложных приспособлений к токарным станкам. Инструментом служит резец с пластинкой твердого сплава, осуществляющий прерывистое резание при скорости 150—450 м/мин.

Рис. 274. Схема скоростного нарезания резьбы.

Рис. 275. Форма стружки при скоростном нарезании резьбы.

Скоростным методом успешно обрабатываются как отожженные, так и термически обработанные углеродистые и легированные стали, а также и чугуны. Резьба нарезается с одного прохода и по чистоте близка к шлифованной. Скоростное нарезание резьбы позволяет сократить время, по сравнению с наиболее производительным методом-резьбофрезерованием, в несколько раз. К сожалению, не обходимо отметить, что методы скоростного нарезания резьбы в производстве реактивных снарядов не нашли еще широкого применения. Схема скоростного нарезания резьбы изображена на рис. 274 и состоит в следующем: нарезаемая деталь (1) закрепляется в патроне станка и имеет медленное вращение (3-30 об/мин). Резец, вращающийся вокруг центра (0_2), врезается в деталь на небольшом участке своего пути за время каждого оборота, снимая при этом тонкую стружку в виде запятой (рис. 275) в сечении, имеющем V-образную форму; сечение стружки изменяется от нуля до максимума и снова до нуля. Прерывистое резание, при котором резец за каждый свой оборот примерно $^4/_5$ времени не соприкасается с изделием и успевает охладиться, позволяет работать на скоростях резания 150—450 м/мин. при высокой стойкости твердого сплава.

В настоящее время экспериментально решены важнейшие вопросы скоростного нарезания резьбы, а именно: определена рациональная геометрия режущей части, рациональное соотношение между диаметрами окружности вращения резца и диаметром резьбы $\left(\frac{R}{r}\right)$ (оно оказалось равным 1,4—1,6 для наружных резьб и 0,5—0,55 для внутренних резьб), подобраны режимы резания.

Еще бо́льшая производительность достигается в том случае, если применяются многорезцовые головки, причем разработаны конструкции двух-, трех-, четырех- и шести-резцовых головок.

Скоростным методом возможно производить нарезку резьбы на черных заготовках с одновременным снятием припуска, для чего необходимо рядом с резьбовым резцом установить проходной резец с широкой режущей кромкой. Точность нарезаемых резьб лежит в пределах 3 класса точности для резьб с шагом $S \geqslant 2$ мм и — 2 класса для резьб с шагом $S < 2$ мм.

2. Скоростное точение деталей реактивных снарядов

Впервые скоростное точение твердосплавными резцами достаточно широкое распространение получило в 1939—1940 гг. в производстве боеприпасов общего назначения. Хотя с того времени скорости точения повышены (до 1 000 м/мин.) и разработка теории скоростного резания значительно продвинулась вперед, скоростное точение деталей РС применяется еще очень мало. Успешное применение методов скоростного точения, как известно, требует выполнения следующих условий:

1) достаточная жесткость, мощность, быстроходность и виброустойчивость станков;

2) наличие конвейерной уборки стружки;

3) быстрый зажим изделия и быстрая подача изделия к станку и от станка;

4) применение режущего инструмента из твердого сплава, имеющего оптимальную форму (отрицательные передние углы) и стружколоматели;

5) жесткость и массивность зажимного приспособления, способного поглощать вибрации, вызываемые в процессе резания, без передачи их на станину станка.

Все эти требования относятся к оборудованию и, безусловно, выполнимы в производстве реактивных снарядов. Основным вопросом, подлежащим рассмотрению при переводе деталей реактивного снаряда на скоростную обработку, является жесткость деталей реактивного снаряда. Как известно, некоторые детали реактивного снаряда и, в первую очередь реактивная камора, являются тонкостенными цилиндрами. В то же время из-за специфики стружкообразования при скоростном точении, а также из-за специальной геометрии режущего инструмента, имеющего отрицательные передние углы, радиальные усилия, действующие на резец, а следовательно, и на изделие, увеличиваются в 2—2,5 раза по сравнению с радиальными усилиями у обычных инструментов. При этом жесткость тонкостенных деталей может оказаться недостаточной, в особенности при многорезцовой обработке, и поэтому режимы резания (величина подачи) должны быть проверены расчетом. Если принять при

скоростном точении равенство между тангенциальной и радиальной составляющими усилий резания, то формула для определения подачи будет иметь вид [1]:

$$s = \left(\frac{\Delta_{дет}}{\Delta_{заг}}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \left(\frac{j}{C_p}\right)^{\frac{4}{3}}, \qquad (62)$$

где:

s — подача мм/об.;

$\Delta_{дет}$ — неточность детали в миллиметрах, может быть принята равной половине допуска на диаметр детали;

$\Delta_{заг}$ — неточность заготовки в миллиметрах, может быть принята равной половине допуска на диаметр заготовки;

C_p — коэффициент, характеризующий обрабатываемый материал при заданной геометрии резца; для стали средней твердости $C_p = 150$ кг/мм^2;

j — жесткость системы (станок, инструмент, изделие); так как жесткость станка и инструмента значительно больше жесткости изделия, то можно в формулу (62) подставлять жесткость только изделия, которая при закреплении изделия на концах определяется формулой

$$j = \frac{P_y}{y} = \frac{48 \cdot EI}{l^3} \text{ кг/мм}.$$

При скоростном точении корпуса боевой части осколочных и осколочно-фугасных снарядов, сопловой крышки и других деталей реактивного снаряда в громадном большинстве случаев жесткость их будет вполне достаточной.

§ 53. ПОРЯДОК РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ; ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПРОЕКТА

Проектирование любого реактивного снаряда начинается с тщательного изучения тактико-технического задания, и лишь после того, как конструктору будут вполне ясны способы, которыми осуществляются назначенные требования, можно переходить к непосредственному расчету и проектированию снаряда.

Первым этапом является предварительное определение основных параметров снаряда, которые можно рассчитать, используя методы, изложенные в главе 3. После определения основных параметров желательно сравнить их с данными аналогичных образцов снарядов. Как указывалось выше, определение основных параметров снаряда может быть произведено с точностью не выше 5%, так как

[1] См. А. П. Соколовский, «Курс технологии машиностроения», ч. I, 1947 г.

доказать, например, выгодность и единственность калибра снаряда с большей точностью, исходя из чисто теоретических соображений, если отсутствуют какие-либо добавочные специальные условия, вряд ли возможно. После определения основных параметров начинается непосредственно проектирование отдельных узлов и всего снаряда в целом, идущее параллельно с расчетом основных размеров. Этот этап работы связан с изготовлением проектных чертежей, которые состоят из общих видов сборочных чертежей изделия и сборочных чертежей его частей, разработанных в такой степени, чтобы по ним можно было составить рабочие чертежи деталей, сборок для изготовления опытного образца или опытной партии. В тех случаях, когда геометрическая форма отдельных деталей не определяется из сборочных чертежей, должны быть вычерчены чертежи этих деталей. На сборочных чертежах изделия и отдельных сборках наносятся важнейшие расчетные размеры, габаритные размеры, важнейшие данные и характеристики изделия. При разработке проектных чертежей необходимо предусмотреть:

1) обоснованность расчетом всех главнейших размеров соответственно тактико-техническим данным, весовым характеристикам, прочности деталей и узлов;

2) принципиальное решение всех технологических вопросов;

3) соответствие размеров, материалов, стандартных деталей, по ОСТ и ГОСТ.

После разработки проектных чертежей разрабатываются чертежи опытные, служащие для изготовления опытного образца, затем чертежи литеры А, проверенные на опытных образцах и служащие основой для проектирования технологического процесса и, наконец, чертежи литеры Б — рабочие чертежи валового производства, окончательно отработанные и проверенные в производстве изготовлением изделий по технологическому процессу, разработанному в соответствии с этими чертежами и полностью оснащенному приспособлениями и контрольно-мерительным инструментом. В ряде случаев разрабатываются еще чертежи ремонтные, литеры Г — рабочие чертежи изделий с выделением элементов, требующих исправлений или замены в соответствии с условиями ремонта. При разработке рабочих чертежей для получения технологичной в производстве конструкции, очень важно учесть ряд производственных требований, главнейшими из которых будут являться:

1. Возможность применения высокопроизводительных методов обработки, к которым можно отнести штамповку, протяжку, литье под давлением, бесцентровую шлифовку, скоростные методы резания.

2. Применение сварных и штампосварных конструкций. В последнем случае детали сложной формы расчленяются на несколько простых частей, которые могут быть получены или путем штамповки, или другими методами обработки. Затем эти части свариваются,

а в некоторых случаях подвергаются дополнительной проковке в калибровочных штампах.

3. Наличие канавок для выхода резьб, шлифовального камня, долбежного резца, наличие фасок, конусов из-под сверла и т. д. Хотя наличие этих элементов является вполне очевидным, технолог, в обязанности которого входит относиться к чертежу как к закону, сам не вправе ввести в деталь эти дополнительные элементы.

4. Унификация размеров и применяемых материалов, что может привести к резкому сокращению режущего и мерительного инструмента, сокращению сортамента заготовок. Все это может дать большой экономический эффект.

Всякое изделие, если оно достаточно сложное, может быть разбито на части или на отдельные сборки. В производстве боеприпасов изделие обычно разделяется на отдельные сборки. Под сборочной единицей или сборкой понимается несколько деталей, соединенных вместе первичной сборочной операцией, или последующие соединения первичных сборок между собой. Характер соединений может быть разъемным (свинчивание) или неразъемным (сварка, клепка).

Первичные сборочные единицы могут быть соединены друг с другом до сборки из них целой системы. В этом случае они также образуют сборочную единицу, но уже второго порядка, например, реактивная камора со стабилизатором. Сборочная единица может быть образована и при присоединении к первичной сборке одной или нескольких отдельных деталей (например, при ввертывании переходной втулки в боевую часть снаряда М-31 получается новая сборка). Такое деление изделия на сборки имеет существенное значение для построения технологического процесса сборки.

Наиболее типичными сборками для реактивных снарядов являются: реактивная часть, боевая часть, стабилизатор, реактивная часть со стабилизатором, воспламенитель и т. д.

На каждое изделие составляется полный комплект рабочих чертежей, куда входят:

1) рабочие чертежи деталей, сборок и общих видов;
2) спецификация;
3) перечень чертежей;
4) ведомость сборки;
5) расчет допусков сопряженных деталей.

Помимо основных чертежей самого изделия в полный комплект могут быть введены следующие:

1) комплекты чертежей запасных деталей;
2) комплекты рабочих чертежей принадлежности, инструмента, необходимого при эксплоатации изделия;
3) комплекты чертежей укупорки и укладки;
4) установочные чертежи (например, положение снаряда на направляющей);

5) специальные схемы (электрическая схема воспламенения, схема огнепровода);

6) таблицы и графики числовых данных и характеристик например, кривая $p = f(t)$, $X = f(p)$;

7) чертежи маркировки и окраски изделия, с указанием текста, места и способов маркировки, если эти данные не могут быть помещены на рабочих чертежах изделия.

Рабочие чертежи изделий валового производства должны иметь все необходимые данные для изготовления изделия и удовлетворять всем действующим ОСТ на чертежи, материалы, нормальные диаметры, длины, резьбы, допуски и посадки. Чертеж отдельной детали или сборки должен давать совершенно четкое представление о конфигурации и размерах детали, содержать технические условия для изготовления детали, выбора материала и метода испытания механических и других характеристик материала. Все размеры детали должны быть снабжены допусками, учитывающими базы обработки и контроля.

Полные требования к рабочим чертежам, спецификациям, перечням чертежей, ведомостям сборки изложены в ТУ НКО № 1.

Каждый вновь разработанный или переработанный проект снаряда сопровождается пояснительной запиской, являющейся неотъемлемой частью проекта и содержащей:

а) тактико-технические требования, на базе которых разработан снаряд, и выводы, следующие из анализа тактико-технических требований;

б) обоснование выбора основных параметров снаряда;

в) обоснование выбора конструкции отдельных узлов снаряда и всего снаряда в целом;

г) расчет на прочность отдельных деталей и узлов снаряда;

д) расчет внутренней баллистики снаряда;

е) расчет внешней баллистики снаряда;

ж) расчет аэродинамических характеристик, устойчивости и кучности снаряда;

з) расчет действия снаряда у цели и расчет на прочность боевой части при действии у цели;

и) определение конструктивных характеристик снаряда — веса, положения центра тяжести, величины моментов инерции;

к) анализ допусков реактивного снаряда;

л) указания на особенности производства, приемки и полигонных испытаний;

м) в том случае, если какой-либо узел снаряда (например, взрыватель или пороховой заряд) подробно не разрабатывается и из существующих образцов подобран быть не может, то необходимо составить тактико-технические требования к такому узлу и задать его габаритные размеры.

н) краткого описания снаряда, приемов заряжания из походного положения в боевое и обратно, тактического применения снаряда и полученных тактико-технических данных.

§ 54. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ФОРМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Применение того или иного технологического процесса в производстве зависит от того, насколько данный процесс обеспечивает тактико-технические требования, предъявляемые к изделию, экономическую рентабельность, массовое производство.

Основными исходными документами для разработки технологического процесса являются чертежи отдельных деталей, сборочные чертежи изделия и программа, определяющая объем производства. Если чертежи изделия разрабатываются непосредственно на заводе-изготовителе, то заводские технологи, еще до окончательного выпуска чертежей, должны ознакомиться с ними, чтобы внести свои предложения, улучшающие технологичность изделия.

Содержание чертежа дает технологу ответы на следующие вопросы: формы и размеры изделия, требуемая точность изготовления, материал, требуемая чистота поверхности, термообработка, а в некоторых случаях и по ряду добавочных вопросов — необходимый сортамент, обязательное применение некоторых технологических операций (сварки, калибровки).

Получив чертеж изделия, технолог обязан тщательно изучить его и сопоставить предварительно составленную технологию изготовления изделия с изученной и проверенной на практике технологией изготовления аналогичных изделий.

Вторым этапом в проектировании технологического процесса является подбор необходимого оборудования из наличия существующего на заводе, для чего необходимо иметь ведомость оборудования (характеристики и паспорта станков). Затребование нового оборудования для проектируемого технологического процесса производится сравнительно редко (не более 3—5% количества потребного оборудования) и главным образом в тех случаях, когда выполнение технологического процесса без наличия новых станков невозможно. Чаще же идут на некоторое (до 20—30%) снижение производительности. Например, ковочные машины на ряде операций, по сравнению с работой на прессах, могут дать до 25% экономии металла, однако при отсутствии ковочных машин технологический процесс проектируется на пресса. После выбора оборудования приступают к разработке основного технологического документа — пооперационной технологической карты. Разбивка технологического процеса изготовления детали на операции производится с учетом программы (ритма потока). Необходимо помнить, что в массовом производстве выгодно операции дробить как можно мельче для

того, чтобы имелась возможность применять рабочую силу наиболее низкой квалификации. Требование в этом отношении состоит в том, что необученный рабочий должен научиться выполнять большинство операций за 1—2 дня. Если продолжительность операции будет большой, то в поточную технологическую линию можно поставить 2—3 станка. Однако больше этого количества в поточную линию ставить не рекомендуется, а если это потребуется, следует операции разукрупнить, либо найти новые, более производительные методы выполнения этой операции. Второе требование, которое ставится при определении количества операций и времени, потребного на одну операцию, — это кратность или почти кратность времени выполнения отдельных операций, что необходимо для создания ритмичного потока, характеризующегося определенным темпом производства. Наличие этих двух требований создает наибольшие трудности при проектировании ритмичного потока. Поэтому в некоторых случаях приходится вводить новые высокопроизводительные методы обработки. Однако спроектированный ритмичный поток не может бесперебойно функционировать без специальных мер к поддержанию ритма, так как имеется ряд факторов, нарушающих ритмичность потока, как-то: различное выполнение норм выработки разными рабочими даже на одних и тех же операциях, непредвиденные аварии и выход из строя оборудования, плохое качество инструмента, завышенная твердость металла. В качестве мер для поддержания ритмичного потока могут быть рекомендованы пооперационные заделы, совмещение профессий рабочими, принудительный ремонт оборудования, работа мастеров и наладчиков на «узких» операциях в обеденный перерыв, в выходные дни, повышение квалификации рабочих, постановка запасного оборудования. Следует отметить тот факт, что, как правило, коэффициент использования оборудования на поточной линии меньший, чем при индивидуальном и мелко-серийном производстве и равняется 0,7—0,8.

После определения количества и содержания операций оформляется технологическая пооперационная карта, в которой указывается наименование операций, оборудование, режущий и мерительный инструменты, приспособление, установочные базы, режимы обработки, машинное и вспомогательное время. В тех случаях, когда операция сложная и весьма ответственная (например бринелирование, дефектоскопия), то составляется специальная инструкция, в которой указывается порядок и способы установки детали, порядок включения и выключения движений, места промера и т. д.

Альбомы технологических карт передаются производственным цехам (цеху выдаются только карты тех операций, которые он выполняет) ОТК, военпреду, производственному отделу. На основе технологических карт составляются маршрутные карты, показывающие порядок прохождения детали по различным цехам. Этот документ необходим для диспетчерско-контрольного пункта. По раз-

работанной технологической карте выдается задание конструктору для разработки приспособлений, мерительного и режущего инструментов, которые затем сводятся в альбомы и являются также неотъемлемой формой технологической документации. Сводные ведомости нормального и специального инструмента направляются в бюро инструментального хозяйства (БИХ) завода, где по ним составляются нормы расхода инструмента.

По пооперационным картам технолог составляет чертежи заготовок (литье, штамповка).

По технологическим картам и чертежам изделия составляются карты, определяющие расход основных и вспомогательных материалов, затрачиваемых на одно изделие. Для основных материалов дается размер, форма, вес, качество исходных материалов; при этом учитываются все необходимые отходы — материал на угар, окалину, отход в стружку, дается раскрой материала при штамповке.

Аналогичные карты составляются на вспомогательные материалы (материальные карты).

По спроектированному таким образом технологическому процессу изготавливается опытная партия, на которой устанавливается, что технологический процесс дает изделия по чертежу и нормы материалов установлены правильно.

Окончательно откорректированный технологический процесс подписывается главным инженером и утверждается директором завода специальным приказом и после этого является обязательным для всех исполнителей.

Для проверки соблюдения технологического процесса разрабатывается график проверки и разрабатывается форма акта о нарушении, в котором имеется графа, определяющая конкретного виновника, нарушающего технологический процесс.

Одновременно разрабатывается график проверки оборудования.

Технологический процесс на заводе постоянно совершенствуется за счет изменения новых режимов резания, применения новых приспособлений инструмента, новых технологических приемов и т. д. В этом случае составляется акт о необходимом изменении технологического процесса, который утверждается главным инженером или директором завода.

§ 55. МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОБЛЮДЕНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Разработанный отделом главного технолога технологический процесс утверждается директором завода и после этого является обязательным для выполнения в цехах. Все необходимые изменения в технологии валового производства могут быть введены только с разрешения директора завода или, в крайнем случае, главного инженера, причем изменение технологии, связанное с изменением чертежа, должно быть согласовано с заказчиком (ГАУ). Ответственность за соблюдение технологического процесса несут начальник цеха, мастер участка и производственный рабочий.

В практике бывают частые отступления от технологического процесса, причиной чего является отсутствие нужного инструмента, материала, недостаточная квалификация рабочего, невнимательность рабочего, недостаточная точность работы оборудования, временный выход отдельных агрегатов оборудования. Поэтому необходим систематический контроль за выполнением технологического процесса, который осуществляется главным технологом, ОТК и военпредом завода.

Контроль за соблюдением технологического процесса заключается в следующем:

1. Проверка соблюдения установленных методов изготовления и сборки, порядка операции и переходов, правильность установленных режимов обработки и соответствия применяемых материалов, сырья и полуфабрикатов.

2. Проверка правильности настройки оборудования, применяемого инструмента и приспособлений. Помимо проверки собственно технологического процесса на каждом предприятии должен быть разработан график проверки исправности и точности оборудования, приспособлений и наиболее ответственных приборов (пирометров, дефектоскопов). ОТК работу по проверке технологического процесса ведет главным образом путем контроля продукции. Старший мастер ОТК завода имеет право прекратить приемку продукции, если после предупреждения цеховой администрации причины, нарушающие технологический процесс, не устранены. Кроме того, при ОТК должно существовать специальное бюро, которое систематически занимается проверкой соблюдения технологической дисциплины.

Аппарат военпреда завода систематически проводит летучий контроль соблюдения технологического процесса, причем не реже одного раза в квартал контролирует весь технологический процесс. При обнаружении нарушений технологического процесса составляется акт о нарушении, который отправляется главному инженеру или директору завода.

Отдел главного технолога производит летучие проверки соблюдения технологического процесса и акты о нарушении направляет главному инженеру для принятия мер.

Результаты периодического и повседневного контроля за соблюдением технологической дисциплины заносятся в специальный журнал, который обязаны систематически просматривать начальник цеха, главный технолог и главный металлург для принятия мер по ликвидации нарушений технологического процесса.

§ 56. РАБОТА ВОЕНПРЕДА ПО ПРИЕМКЕ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ НА МЕХАНИЧЕСКОМ ЗАВОДЕ

Военный представитель является представителем заказчика (ГАУ или другого управления) на заводе и его работа регламентируется Правительственными Постановлениями и существующими положениями. Военпред принимает продукцию, отвечающую чертежам и техническим условиям и несет полную ответственность за приемку негодной продукции. Военпред обязан следить за выполнением заводской программы и о всех неполадках, мешающих выполнению плана, докладывать вышестоящим начальникам, сообщать директору завода.

Для обеспечения высокого качества продукции военная приемка контролирует:

а) исходные материалы, запускаемые в производство;

б) мерительные инструменты и средства измерений, применяемые на заводе;

в) соблюдение технологической дисциплины в цехах;

г) выполнение наиболее ответственных операций (гидравлические и прочностные испытания, магнитная дефектоскопия);

д) продукцию и полуфабрикаты в заготовительных и механических цехах (периодический контроль);

е) окончательную годность продукции, идущей на вооружение Советской Армии.

Контроль исходных материалов осуществляется бюро внешней приемки ОТК совместно с военным представителем.

Наиболее ответственные материалы, например металлы, подвергаются механическим испытаниям и испытаниям на химический анализ. Если материал поступает от завода-поставщика с сертификатом, подписанным военпредом, то материал может запускаться без дополнительного контроля.

В основном работа военпреда протекает в заготовительных, механических и сборочных цехах.

В горячих, например кузнечно-прессовых, цехах военпред контролирует технологический процесс, а именно температуру нагрева деталей, время нагрева, температуру начала и конца штамповки. Особенно тщательным должен быть контроль в термических цехах, так как прочность деталей в большой степени зависит от соблюдения технологического процесса термообработки (температура и время нагрева детали, температура охлаждающей жидкости, смена охлаждающей жидкости).

В механических цехах военпред производит выборочный контроль отдельных размеров по мерителям, контроль наиболее важных и трудных операций (например, нарезка резьб, бринелирование). После 100% контроля ОТК по всем мерителям партия продукции с заключением о годности вместе с предъявительской записки передается на заключение военпреду. К предъявительской записке особо прикладывается результат испытаний по гидравлике и дефектоскопии.

На сборочном участке внимание военпреда должно быть сосредоточено на подготовке и проведении антикоррозийных покрытий, на прочность приварки и развальцовки стабилизатора, на правильность постановки направляющих штифтов и пиросвечи.

Скомплектованные снаряды в укупорке предъявляются военпреду на окончательный прием, который происходит выборочным путем. Заключение об окончательной годности изделий военпред дает после получения результатов полигонных испытаний.

Наиболее важные приборы цеха (дефектоскоп, приспособление для гидравлических испытаний) периодически испытываются особой комиссией, в которую выделяется специальный представитель военпреда. Период работы того или иного прибора определяется практикой работы завода и устанавливается заводом совместно с военпредом.

ГЛАВА V

ПОЛИГОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ОБРАЩЕНИЕ С РЕАКТИВНЫМИ БОЕПРИПАСАМИ

§ 57. ПОЛИГОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

1. Общие указания

Испытания контрольных партий реактивных снарядов проводит руководитель опытов полигона, который несет ответственность как за всю материальную и боевую подготовку испытаний, так и за проведение испытаний и оформление отчетов.

Контрольные партии реактивных снарядов обеспечиваются образцовыми пороховыми зарядами. Испытание контрольных партий снарядов случайными пороховыми зарядами от разных партий не допускается.

2. Отбор контрольных партий снарядов и погдотовка их к испытанию стрельбой

Контрольная партия отбирается военпредом на механическом заводе от технически принятой, удовлетворяющей чертежу и техническим условиям валовой партии корпусов.

При отборе партии снарядов военпред следит за тем, чтобы не были отобраны специально лучшие снаряды, а чтобы в контрольные партии попали снаряды:

1) с крайними пределами по механическим испытаниям металла,

2) с наибольшей и наименьшей разностенностью (в пределах допуска),

3) с наибольшими и наименьшими весовыми допусками.

Осмотренные военпредом корпуса снарядов контрольной партии отгружаются на снаряжательный завод или на полигон в укупорке, опломбированной военпредом. Снаряжение контрольных партий снарядов, заливка головных частей ВВ и вкладывание пороховых зарядов производится на снаряжательных заводах или на полигонах МСХМ. При снаряжении контрольной партии на снаряжательном заводе отмечают на ярлыке: род ВВ, метод заливки, плотность ВВ и заключение о годности контрольной партии для отстрела. Контрольные партии с вложенными в них пороховыми зарядами подвергаются на полигоне окончательной проверке. При снаряжении контрольной партии снаряжательный завод, полигон и военпред на заводе или на полигоне тщательно проверяют качество пороховых зарядов, которые не должны иметь наружных дефектов, повреждений и по размерам должны удовлетворять чертежу и техническим условиям.

Проверка и обмер снарядов производится следующими приборами и инструментами:

а) прибор для контроля расположения крыльев стабилизатора по отношению к направляющим штифтам и правильности постановки последних;

б) шаблон для контроля высоты от центрующих утолщений каморы до нижней (опорной) плоскости головки штифта;

в) шаблон для контроля высоты контакта свечи;

г) пройма для контроля расположения крыльев стабилизатора;

д) проходной резьбовой калибр в очко под взрыватель;

е) калибр для проверки диаметра критического сечения сопла.

Взрыватели ввертываются в снаряды непосредственно перед началом стрельбы. Колпачки со взрывателей ГВМЗ снимаются после установки снарядов на направляющие.

До стрельбы снаряды должны находиться в условиях, обеспечивающих одинаковую температуру зарядов. Отстрел контрольных партий снарядов производится при температуре воздуха от —40 до + 40° С.

3. Подготовка боевых машин

Исправная боевая машина, предназначенная для отстрела контрольных партий, должна быть установлена на твердом грунте, строго горизонтирована и вывешена на опорах домкратов. Наводка установки должна производиться плавно, без резких ударов и толчков.

4. Проведение испытаний контрольных партий снарядов

1. Снаряды испытываются на кучность боя, прочность и безопасность при стрельбе группами, в количествах, обусловленных чертежом, в окончательном снаряжении, на предельную дистанцию при угле возвышения в 45°. Отстрел производится с боевой машины, методическим огнем с промежутками между выстрелами в 8 ÷ 10 сек.

2. В период освоения производства снарядов контрольный отстрел первых 5 партий обязателен. При получении удовлетворительных результатов испытаний первых 5 партий валового производства дальнейший контрольный отстрел производится через одну партию. При получении неудовлетворительных результатов на кучность боя партия испытывается повторно. Заводу предоставляется право перед повторным испытанием провести пересмотр партии. При

получении неудовлетворительных результатов повторного испытания на кучность боя партия бракуется. При получении неудовлетворительных результатов испытания на прочность и безопасность (получение преждевременного разрыва камор, отрыв крышки-сопло, отрыв стабилизатора) партия к повторному испытанию не допускается и бракуется. При получении неудовлетворительных результатов испытания на безопасность, или повторного испытания на кучность боя, испытанию подвергаются подряд следующие три партии.

3. Контрольный отстрел производится при соблюдении следующих условий:

а) наземный ветер не более 8 м/сек;

б) горизонтирование машины как в продольном, так и в боковом направлениях обязательно; перед стрельбой машина осматривается, а направляющие проверяются калибрами;

в) при контрольном отстреле веса окончательно снаряженных снарядов должны быть в пределах $\pm 1{,}5\%$;

г) 100% отметка мест падения снарядов при отстреле на кучность боя обязательна;

4. Результаты контрольных испытаний признаются удовлетворительными, если при пуске и на траектории не будет преждевременных разрывов, а также обрывов крышки-сопла, стабилизатора; будет получена кучность не ниже требуемой по техническим условиям.

Отказы в выстреле из-за неисправности пиропатрона или боевой машины в расчет не принимаются. При отказе в выстреле в первом случае допускается замена пиропатрона.

5. При проверке правильности сборки выстрела, а также при замене, в случае необходимости, пиропатронов следует руководствоваться порядком сборки выстрела, указанном в форматке снаряжательного завода.

5. Обработка результатов испытаний

Отстрел контрольной партии производится одиночными выстрелами со всех направляющих боевой установки. Продолжительность отстрела одной контрольной партии должна быть не более 45 мин. Стрельба производится из укрытия с помощью выносного приспособления к ПУО.

Определение точек падения (разрывов) снарядов разрешается производить двумя способами:

а) непосредственно замером с помощью мерной ленты и провешивания направления; точность замера должна быть не менее ± 1 м;

б) методом засечек с помощью визуальных или оптических приборов.

Результаты, полученные при стрельбе, обрабатываются по формулам:

$$X_0 = \frac{\sum_1^n X_i}{n};$$

$$Z_0 = \frac{\sum_1^n Z_i}{n};$$

$$B_д = 0{,}6745\sqrt{\frac{\sum (X_i - X_0)^2}{n-1}};$$

$$B_б = 0{,}6745\sqrt{\frac{\sum (Z_i - Z_0)^2}{n-1}},$$

где:

X_0 и Z_0 — координаты средней точки попаданий;

X_i и Z_i — координаты точек попаданий отдельных снарядов.

При большом отрыве снаряда от группы выстрела по дальности (недолет), когда установлено, что причиной недолета является неудовлетворительное качество стабилизатора, партия снарядов подвергается на механическом заводе пересмотру, после чего отбирается вторая контрольная партия для перепспытания.

Вычисленные величины рассеивания следует производить только по результатам нормальных измерений. Из группы может быть отброшен, как анормальный, только один выстрел.

За анормальное измерение следует считать то, которое отклонилось от арифметической средины более чем на 4 срединных отклонения, вычисленных по данной группе измерений.

При обнаружении причин анормальности выстрела, свидетельствующих о плохом качестве испытуемой продукции, партия забраковывается.

§ 58. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИНДЕКСАЦИИ, МАРКИРОВКЕ, КЛЕЙМЕНИИ, ОКРАСКЕ И УКУПОРКЕ

1. Индексы

Каждому реактивному снаряду присваивается краткое обозначение — индекс. Он состоит из двух цифр, стоящих впереди, одной — трех букв — в средине и трех цифр — в конце индекса, на-

пример, индекс снаряда М-13—53-Оф-941. Первые две цифры обозначают отдел вооружения, к которому образец относится. Буквы определяют категорию (тип) и, в большинстве случаев, являются начальными буквами названия предмета (Оф — осколочно-фугасный). Две предпоследние цифры определяют калибр снаряда, а последняя — номер образца.

Реактивные снаряды имеют также баллистический индекс (например ТС-34), наносимый на реактивной каморе и укупорке и называемый в таблицах стрельбы.

2. Маркировка

Маркировкой называются знаки и надписи, нанесенные краской на боевой части, реактивной каморе и укупорке. Маркировку наносит снаряжательный завод, на котором боевая часть снаряжается разрывным, а реактивная камора — пороховым зарядами.

Маркировка позволяет определить вид снаряда, его боевое назначение и действие, время, место и номер партии снаряжения и сборки, весовой знак снаряда, марку пороха и другие данные.

Образцы маркировки реактивных снарядов показаны на рис. 276.

На боевой части реактивного снаряда наносится краской индекс снаряда, номер снаряжательного завода, номер партии снаряжения, год снаряжения и марка взрывчатого вещества.

На реактивной каморе наносится краской номер партии пороха, год изготовления пороха, условное обозначение порохового заряда и баллистический индекс.

Помимо этих данных возможно включить в маркировку и другие данные, например, сопротивление электрозапала, весовые знаки.

3. Клеймение

Кроме маркировки на боеприпасы наносятся клейма, выбитые или выдавленные на боевой части снаряда, на реактивной каморе, на взрывателе. Клейма выбиваются механическим заводом, изготовляющим корпуса снаряда или взрывателя. На боевой и реактивной частях снаряда выбиваются цифры и знаки, указывающие завод-изготовитель, номер партии корпусов, год изготовления. Кроме того, выбивается клеймо военного представителя, принявшего снаряд.

4. Окраска

Окраска реактивных снарядов, также как и снарядов ствольной артиллерии, подразделяется на предохранительную и отличительную.

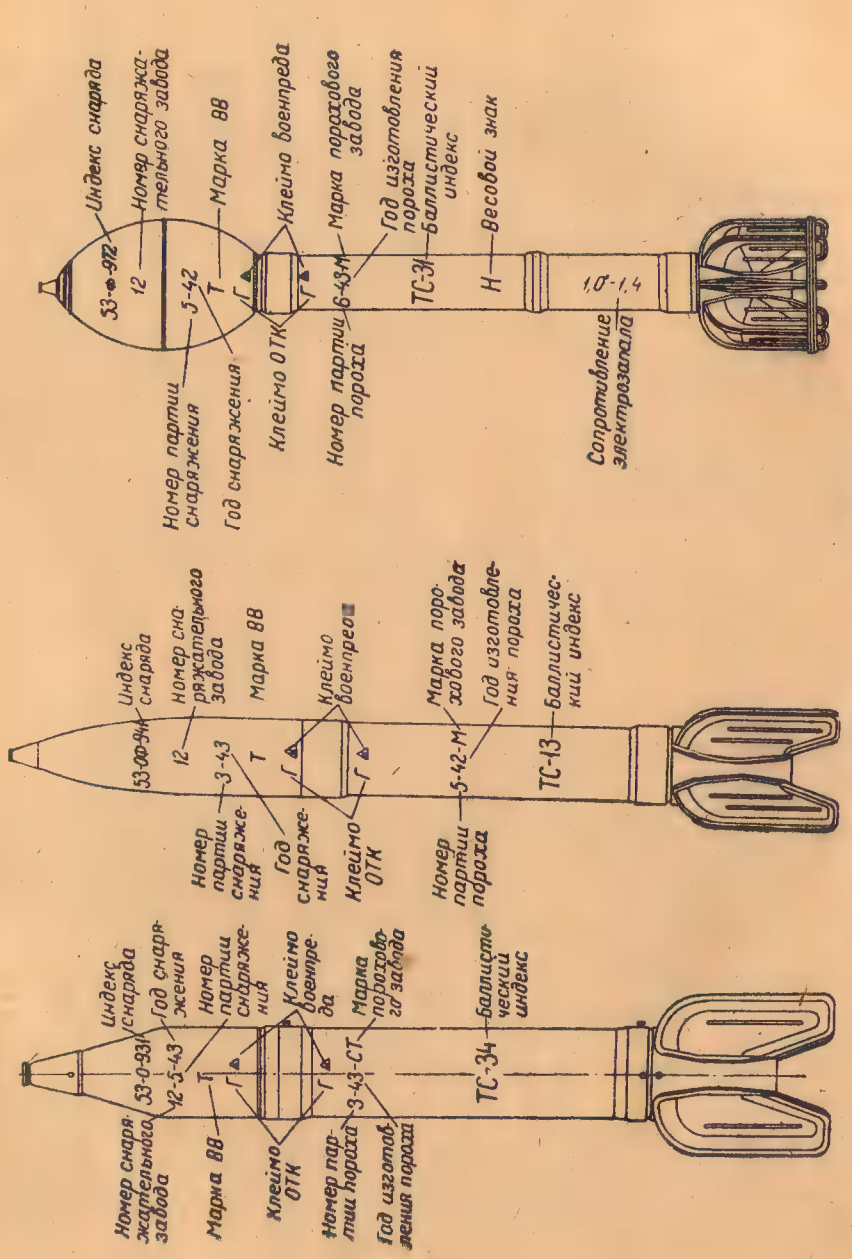


Рис. 276. Схема маркировки снарядов М-8, М-13, М-31.

Предохранительная окраска наносится на наружную поверхность реактивной каморы и боевой части.

В военное время снаряды, как правило, не окрашиваются, а только осаливаются.

Отличительная окраска наносится на снаряды как в мирное, так и в военное время и состоит из кольцевых полос определенного цвета, наносимых на боевой части.

Реактивные снаряды основного назначения (фугасные, осколочные, осколочно-фугасные) отличительной окраски не имеют.

Цвет отличительной окраски реактивных снарядов специального назначения (дымовые, зажигательные) тот же, что и для снарядов ствольной артиллерии.

5. Укупорка

К укупорочным ящикам предъявляются два основных требования:

1) плотная укладка реактивного снаряда, с тем чтобы он не мог перемещаться внутри ящика;

2) снаряды должны располагаться в укупорке так, чтобы ответственные элементы, центрующие утолщения, лопасти стабилизатора, направляющие штифты, не служили опорными поверхностями.

На крышку и боковые

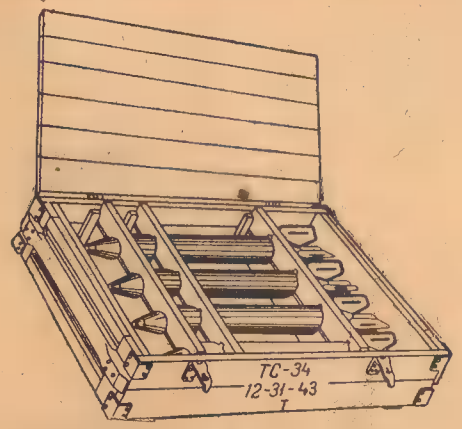


Рис. 277. Укупорочный ящик для снарядов М-8.

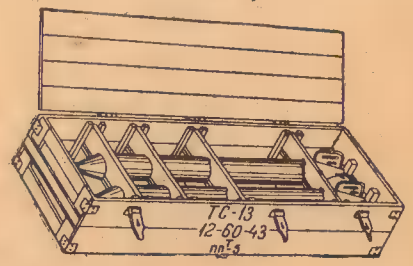


Рис. 278. Укупорочный ящик для снарядов М-13.

стенки ящика наносится та же маркировка, которая имеется на снаряде.

Для укупорки снарядов пользуются ящиками либо деревянными, либо из толстого прессованного картона. На рис. 277 и 278 показаны укупорочные ящики для снарядов М-8 и М-13. В ящике имеются деревянные вкладыши, предохраняющие снаряды от перемещения снаряда внутри ящика при перевозке.

На рис. 279 показан укупорочный ящик снаряда М-31. В этом ящике снаряд М-31 крепится деревянными планками, которые перед заряжанием выбиваются.

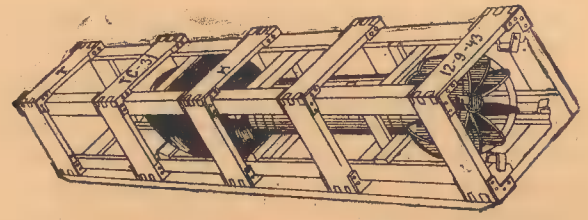


Рис. 279. Укупорка снаряда М-31.

В табл. 29 приводятся данные по укупорке оперенных и турбореактивных снарядов.

Таблица 29

Снаряд	Вес снаряда	Вес укупорочного ящика	Число снарядов в ящике	Вес укупорки на 1 снаряд	
				кг	%
М-8	8,2	25	4	6,25	76
М-13	42,5	40	2	20	47
М-31	92,5	35	1	35	38
158-мм	35	4	1	4	11
210-мм	110	12	1	12	11
300-мм	127	33	1	33	26

В табл. 30 приводятся нормы погрузки РС на различные автомашины и коэффициент использования грузоподъемности автомашин.

Таблица 30

Снаряд	Вес ящика со снарядами	Предельная норма погрузки в ящиках на автомашину			Коэффициент использования грузоподъемности машин в %		
		ГАЗ АА 1,5 т	ЗИС-5 3 т	ЯГ-6 5 т	ГАЗ АА	ЗИС-5	ЯГ-6
М-8	57	22	40	60	83	76	68
М-13	125	12	24	32	100	100	80
М-31	126	10	20	35	84	84	88
158-мм	38	37	75	120	94	95	91
210-мм	122	12	24	40	97	98	98
300-мм	160	9	18	30	96	96	96

§ 59. ХРАНЕНИЕ, СБЕРЕЖЕНИЕ, ПРИЕМ И ПЕРЕВОЗКА РЕАКТИВНЫХ БОЕПРИПАСОВ

1. Хранение боеприпасов

Правила хранения реактивных боеприпасов в основном аналогичны правилам хранения боеприпасов ствольной артиллерии. Поэтому здесь будут описаны только специфические особенности хранения реактивных боеприпасов.

По степени готовности к боевому использованию реактивные выстрелы разделяются на готовые и комплектные. Готовыми реактивными выстрелами считаются снаряды, полностью собранные, снабженные пороховыми зарядами и зажигательными приспособлениями (воспламенитель и запал).

Комплектными реактивными выстрелами считаются такие выстрелы, которые обеспечены всеми без исключения элементами, хранящимися на одном складе и которые могут быть собраны в готовые выстрелы.

Хранить на арсенале, базе, складе реактивные выстрелы в окончательно снаряженном виде, т. е. с ввернутыми взрывателями, запрещается.

Реактивные боеприпасы, как правило, хранятся в хранилищах. Хранить реактивные боеприпасы на открытом воздухе разрешается в следующих случаях:

1. Временное хранение до 5 дней — снарядов, разгруженных для завоза в хранилище или сосредоточенных для погрузки. В этом случае должны быть строго выдержаны положения соответствующих инструкций (минимальное расстояние от железнодорожной линии, максимальные размеры штабелей, интервалы между штабелями и др.).

2. Постоянное хранение реактивных боеприпасов на открытом воздухе разрешается при недостатке свободных площадей в хранилищах. При хранении реактивных снарядов на открытом воздухе на площадке хранения насыпается слой гальки, щебня или шлака, толщиной не менее 5 см, после чего укладывается настил толщиной в 10 см.

Сверху реактивные боеприпасы должны быть защищены от дождя и солнечных лучей брезентами, фанерой, толем. Боеприпасы на открытом воздухе хранятся только в укупорке.

Хранить на открытом воздухе дымные пороха, взрыватели, трубки, детонаторы и средства воспламенения запрещается.

Комплектные реактивные выстрелы и некомплектные элементы хранятся раздельно по элементам в количествах, не превышающих предусмотренных инструкцией.

Хранение реактивных боеприпасов в хранилищах может производиться либо в укупорке, либо на рамах. Отдельные элементы (пороховой заряд, воспламенители) хранятся только в укупорке.

Оконные стекла хранилищ с реактивными боеприпасами с солнечной стороны должны быть закрашены белой краской или мелом.

Высота укладки штабелей реактивных снарядов выбирается с таким расчетом, чтобы не превышать допустимой нагрузки на квадратный метр пола хранилища и прочности нижнего ящика с боеприпасами.

Укладка ящиков с выстрелами производится так, чтобы боевые части были расположены в одном наиболее безопасном направлении. При такой укладке уменьшается опасность при самопроизвольном выстреливании реактивных снарядов, например при пожаре.

Совместное хранение в одном хранилище или штабеле реактивных выстрелов, снятых с вооружения и запрещенных к отпуску в войска, запрещается.

Пороховые заряды хранятся только в хранилищах в скомплектованном виде. Хранение россыпью производится только со специального разрешения ГАУ ВС.

Бездымные пороха, воспламенители, пиропатроны, взрыватели, детонаторы хранятся в заводской укупорке и помещаются в отдельных хранилищах. Даже временное хранение этих элементов на площадке под открытым небом воспрещается.

Тротил и детонаторы хранятся в заводской укупорке в специальных хранилищах для ВВ. Боеприпасы, опасные при хранении и транспортировке, по их выявлении, немедленно вывозятся с технической территории на специальную площадку, удаленную на расстояние не менее 500 м от внешней ограды и уничтожаются на подрывном поле.

2. Сбережение боеприпасов

Сохранность, исправность и постоянная готовность к боевому использованию реактивных боеприпасов достигается:

а) контрольно-техническим осмотром;
б) контролем, путем проведения физико-химических испытаний;
в) своевременным ремонтом;
г) точным соблюдением правил безопасности и правил при хранении.

Контрольно-технический осмотр реактивных выстрелов и элементов имеет целью проверить:

а) качественное состояние реактивных выстрелов и элементов и правильность отнесения каждой партии к определенной категории;
б) правильность комплектации реактивных выстрелов и маркировки на боеприпасах и укупорке;
в) правильность ведения количественного и качественного учета.

Контрольно-технический осмотр реактивных боеприпасов производится, как правило, один раз в год, преимущественно в теплое и сухое время года.

Для контрольно-технического осмотра берется 2% от каждой партии реактивных выстрелов и элементов. Если при контрольно-техническом осмотре обнаруживаются дефекты, то количество осматриваемых боеприпасов удваивается. Если дефекты будут обнаружены при повторном осмотре, то вся данная партия выстрелов или элементов направляется на осмотр и ремонт.

Контроль за качеством порохов, воспламенителей, пиропатронов осуществляется путем периодического испытания образцов этих изделий в сроки, устанавливаемые специальной инструкцией. Производятся испытания физико-химические (химсостав, проба Вьеля, проба Абеля) и баллистические (стендовые), при которых определяется максимальное, минимальное и среднее давления, разброс давлений и т. д.

Пиропатроны, электрозапалы, универсальные электровоспламенители проверяются наружным осмотром в контрольно-химической лаборатории, контролируется исправность мостиков накаливания и соответствие электрического сопротивления.

3. Прием, отправка и перевозка реактивных боеприпасов

Прием и отправка реактивных боеприпасов и боеприпасов ствольной артиллерии существенных отличий не имеют и производятся в соответствии с существующими инструкциями. После разгрузки поступивших реактивных боеприпасов производится их технический прием, причем устанавливаются следующие количества боеприпасов, подлежащих техническому приему:

1) для снарядов поступивших с заводов, от сборочно-снаряжательных арсеналов и баз ГАУ ВС, от 1 до 5% (в зависимости от проверяемого элемента выстрела);

2) снаряды, поступающие от войсковых частей, полигонов и трофейных органов, подлежат 100% техническому приему.

Перевозка реактивных боеприпасов по железным дорогам, водным путям, на подводах и автомашинах и на других видах транспорта производится в соответствии с правилами транспортировки боеприпасов ствольной артиллерии, в соответствии с правилами безопасности при погрузочно-разгрузочных работах и перевозках реактивных боеприпасов.

§ 60. СЛУЖЕБНОЕ ОБРАЩЕНИЕ С РЕАКТИВНЫМИ БОЕПРИПАСАМИ

1. При поступлении в часть реактивные снаряды сортируются по баллистическим индексам и весовым знакам. Отбраковываются снаряды, имеющие трещины или вмятины на корпусе снаряда, погнутость или отсутствие хотя бы одного направляющего штифта, неисправность стабилизатора. Стрельба такими снарядами воспрещается.

2. Во избежание повреждений стабилизаторов, запрещается класть оперенные снаряды на землю без укупорки. При переноске снарядов в ящиках категорически запрещается бросать ящики и кантовать.

3. Запрещается курить и разводить костры ближе 100 м от места размещения реактивных боеприпасов.

Хранение и транспортировка реактивных снарядов в полевых условиях определяется специальными инструкциями.

§ 61. УНИЧТОЖЕНИЕ НЕГОДНЫХ РЕАКТИВНЫХ БОЕПРИПАСОВ

Уничтожение реактивных боеприпасов производится двумя способами — подрывом и сжиганием. Подрывом уничтожаются взрывчатые вещества и все боеприпасы, содержащие взрывчатые вещества. Сжиганием уничтожаются пороха, воспламенители, пиротехнические средства, пиропатроны и электрозапалы.

Для производства подрыва боеприпасов вне территории склада организуется подрывное поле, оборудованное блиндажами для укрытия рабочих, подрывников, хранения подрывных материалов и расположенное в удалении (не менее 1,5—3 км) от города, завода, железной дороги.

Подрыв реактивных боеприпасов производится либо огневым, либо электрическим способами.

Огневой способ применяется при одиночных подрывах и производится при помощи зажигательной трубки, состоящей из капсюля-детонатора № 8, бикфордова шнура и пенькового тлеющего фитиля.

Электрический способ применяется при групповых подрывах и производится электродетонатором (электрозапал с капсюлем-детонатором).

Способы взрывания огневой и электрический являются только возбудителями взрыва, сам же взрыв достигается применением подрывного (активного) заряда. Подрывным зарядом является одна или несколько шашек из прессованного ВВ, имеющих гнездо для капсюля-детонатора или электродетонатора. Вес подрывного заряда зависит от калибра и типа снаряда и колеблется в пределах 0,2—0,6 кг при первом подрыве и 0,2—1,0 кг при повторном подрыве.

Подготовленные к совместному подрыву несколько снарядов называются фугасом. Общий вес разрывных зарядов снарядов одного фугаса берется не более 60 кг. Все боеприпасы укладываются в яму глубиной не менее одного метра. Подрывной заряд укладывается сверху и привязывается шпагатом к снарядам.

Подрыв неразобранных снарядов (с пороховым и разрывным зарядами) запрещается и может быть разрешен в виде исключения.

В этом случае яма для подрыва делается глубиной не менее 2 м, причем одна стенка ямы отвесная и в сторону этой отвесной стенки упираются боевые части снарядов. Подрывной заряд укладывается на боевую часть снаряда; укладка его на реактивную камору запрещается.

Сжигание порохов и пиротехнических средств производится на том же подрывном поле, для чего площадка для сжигания углубляется на 10 см в землю, а штабель уничтожаемых пороховых шашек не должен иметь высоту более 10 см. После сжигания пороха площадка через 30 мин. поливается водой. Недогоревшие пороховые шашки и прочие остатки собираются и дополнительно сжигаются. При уничтожении боеприпасов надо строго следить за соблюдением, установленных инструкциями, соответствующих мер предосторожностей, главнейшими из которых являются:

1) тщательный подбор, обучение и инструктаж бригады работников, занимающихся уничтожением боеприпасов;

2) испытание и проверка аппаратуры, применяемой при подрывных работах;

3) своевременное укрытие работающих при начале подрыва и строгое выдерживание интервала времени, после чего разрешается выход из укрытий; ясная, четкая и исправная сигнализация, дающая команды «Уходить в укрытия», «Выходи»;

4) в дни производства работ по подрыву в радиусе 1,5 км от подрывного поля выставляется оцепление и всякое движение в этой зоне воспрещается.

Выброшенные взрывом неразорвавшиеся окончательно снаряженные снаряды трогать не разрешается, они подрываются на месте падения. Снаряды, осколки с остатками взрывчатых веществ, но без взрывателей и детонаторов, разрешается собирать в одно место для повторного подрыва. Осколки, содержащие неразорвавшиеся взрыватели и детонаторы, трогать не разрешается, они должны подрываться на месте падения.

Отвод людей в укрытие обязателен при любых подрывах, в том числе и при подрыве осколков с остатками взрывчатых веществ.

§ 62. КАТЕГОРИРОВАНИЕ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Реактивные снаряды по своим качественным признакам распределяются на 5 категорий.

К 1 категории относятся боеприпасы, годные для боевого использования, не имеющие дефектов по наружному виду и снаряжению, подготовленные для долговременного хранения как на базах, в складах и арсеналах, так и в войсковых частях.

Ко 2 категории относятся боеприпасы, годные к боевому использованию, вполне исправные по наружному виду и снаряжению, но имеющие незначительные дефекты, не препятствующие боевому использованию. Неисправности могут быть устранены в войсковых частях или в отделах хранения арсеналов, баз и складов.

К 3 категории относятся боеприпасы, требующие ремонта в мастерской, как-то: разборки выстрелов, замены негодных к боевому использованию элементов (пиропатронов, боевых или реактивных частей, зарядов), очистки от сильной ржавчины.

К 4 категории относятся боеприпасы, требующие заводского ремонта, как-то: переснаряжения, переделки (пороха). Снаряды с неисправными пиропатронами, воспламенителями, электрозапалами, укупоркой, пластмассовыми крышками и картонажем в 4 категорию не переводятся.

К 5 категории относятся боеприпасы, совершенно негодные для боевого использования или снятые с вооружения.

Определение качественной категории боеприпасов, хранящихся в негерметической укупорке в арсеналах, на базах и складах, производится путем контрольного осмотра боеприпасов от заводской, сборочной или сборной партии, в количествах, указанных в инструкции по хранению и сбережению реактивных боеприпасов в арсеналах, на базах и в окружных складах. В войсковых частях осмотр производится на 100%. В зависимости от результата осмотра всей партии боеприпасов присваивается соответствующая категория.

Определение качественной категории боеприпасов, находящихся в герметической укупорке, производится на основании данных формуляров, паспортов и состояния герметической укупорки без вскрытия последней.

Партия выстрелов первой категории состоит из выстрелов, скомплектованных из элементов первой категории. Отнесение выстрелов ко второй и третьей категориям производится по низшей категории одного из элементов (боевой части, порохового заряда, реактивной части, средств воспламенения), входящих в состав выстрелов.

При наличии в готовых выстрелах одного из элементов четвертой или пятой категорий выстрелы в целом относятся к третьей категории, за исключением выстрелов, опасных для хранения и транспортировки. Перечисление боеприпасов из одной категории в другую, низшую категорию, производится на основании актов технического осмотра и данных испытаний химических лабораторий и полигонов. Перевод реактивных боеприпасов в 4 и 5 категории утверждается Главным Артиллерийским Управлением.

При категорировании боеприпасов, категория укупорки в расчет не принимается.

Появление ржавчины на боеприпасах не может служить причиной перечисления их в низшую категорию. Ржавчину надлежит немедленно удалять.

Подробный перечень дефектов готовых реактивных снарядов и отдельных его элементов — боевой части, реактивной части, поро-

хового заряда и средств воспламенения, определяющих принадлежность реактивных боеприпасов к той или иной категории, дается в инструкции по категорированию реактивных боеприпасов.

§ 63. РЕМОНТ РЕАКТИВНЫХ БОЕПРИПАСОВ

1. Общие положения

Ремонт реактивных боеприпасов производится для приведения выстрелов в состояние, пригодное к боевому использованию или длительному хранению, а также для замены неисправных и запрещенных элементов выстрелов. По характеру и объему работ ремонт реактивных выстрелов может быть подразделен на полный и малый.

Полному ремонту подвергаются выстрелы и их элементы, отнесенные к третьей категории и требующие замены неисправных или запрещенных элементов, очистки от сильной ржавчины, удаления негодного антикоррозийного покрытия, ремонта очка под взрыватель.

Малому ремонту подвергаются выстрелы и элементы, отнесенные к третьей и второй категориям, требующие устранения незначительных дефектов на наружной поверхности, как-то: очистка от небольшой ржавчины, исправление осалки, подлакировка, замена холостых пробок, картонных тарелей, изоляционной ленты а также сортировка и составление сборных партий.

В полный ремонт входит следующий комплекс работ:

а) полная разборка выстрелов на элементы с их сортировкой;

б) ремонт элементов выстрелов, причем часть элементов может быть подвергнута полному, а часть — малому ремонту;

в) полное удаление негодного антикоррозийного покрытия и ржавчины с наружной поверхности боевых и реактивных частей;

г) удаление негодного антикоррозийного покрытия и ржавчины на внутренней поверхности каморы, колосниковой решетки и сопла с последующей их лакировкой;

д) проверка контрольно-мерительными инструментами и приборами;

е) нанесение нового антикоррозийного покрытия;

ж) восстановление производственной и отличительной маркировки;

з) ремонт очка под взрыватель и среза ВВ.

В малый ремонт входит следующий комплект работ:

а) подчистка отдельных мест от ржавчины на наружной поверхности;

б) исправление маркировки на боевой и реактивной частях;

в) исправление окраски или осалки наружной поверхности боевых частей и камор и лакировки стабилизаторов;

г) сортировка выстрелов по партиям порохового заряда и составление сборных партий выстрелов;

д) замена неисправных холостых пробок и картонных тарелей;

е) герметизация тангенциальных отверстий, очка под взрыватель и сопла;

ж) переукупоривание выстрела и элементов;

з) мелкий ремонт укупорки.

В процессе выполнения ремонтных работ с реактивными боеприпасами запрещается:

— ремонт выстрелов или боевых частей в окончательно снаряженном виде;

— применение не предусмотренных инструкцией приборов и источников тока для проверки исправности мостиков накаливания пиропатронов, электрозапалов;

— производить проверку исправности цепи мостиков накаливания пиропатронов и электрозапалов в готовых выстрелах или каморах, снаряженных пороховыми зарядами;

— исправлять забитость резьбы у очка под взрыватель при наличии на резьбе раздробленного или осыпающегося ВВ (особенно пикриновой кислоты).

2. Полный ремонт

Разборка выстрелов на элементы производится в следующей последовательности:

а) раскупорка и выемка выстрелов из ящиков;

б) сортировка выстрелов по партиям порохового заряда и по партиям снаряжения боевых частей;

в) отвинчивание боевой части от реактивной каморы;

г) извлечение из каморы воспламенителя и порохового заряда;

д) вывинчивание заглушек пиросвечей и извлечение пиропатронов.

После разборки производится сортировка элементов, составление партий, ремонт элементов выстрела и укупорка отремонтированных и годных элементов.

После раскупорки производится снятие предохранительной осалки сначала металлическими или деревянными скребками, а затем применением растворителей.

После разборки выстрелов их элементы — боевые и реактивные части, пороховые заряды, воспламенители и пиропатроны, подвергаются 100% осмотру и сортировке.

Боевые части сортируются на две группы:

1) боевые части с сохранившейся маркировкой;

2) боевые части без маркировки, которые составляются в отдельные сборные партии.

На каждую группу отсортированных боевых частей наносится трафарет, отражающий индекс, номер сборной партии, год снаряжения, год составления, номер базы и шифр взрывчатого вещества.

Если сборная партия не имеет полных производственных данных (например, отсутствует год снаряжения), то они в маркировке не указываются.

Пороховые заряды также сортируются на две группы:

1) пороховые заряды с наличием маркировки;

2) пороховые заряды, рецептуру которых восстановить невозможно ни по учетным данным, ни по маркировке на каморах (стер-

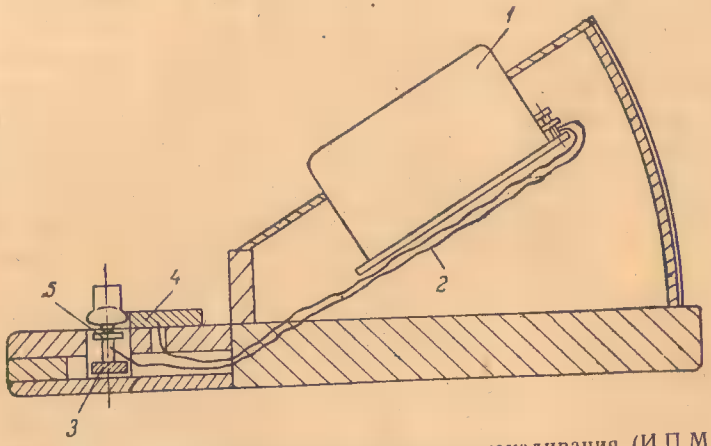


Рис. 280. Индикатор проверки мостиков накаливания (И.П.М.)

тые знаки), составляются в отдельные партии и при маркировке ставится шифр БМ (безмаркировочные).

Пороховые заряды, полученные при разборке выстрелов, протираются от грязи и пыли чистой ветошью. Одновременно с очисткой шашек производится отбраковывание зарядов или отдельных шашек, выцветших или имеющих сколы и другие дефекты. Раскомплектованные заряды, от которых отбракованы шашки с дефектами, в процессе работы доукомплектовываются шашками той же партии зарядов, после чего заряды взвешиваются. Вновь подобранный пороховой заряд должен иметь тот же вес, что указан в заводском ярлыке на данную партию зарядов.

Пороховые заряды, подобранные указанным образом, укупориваются в герметическую укупорку.

Пиропатроны в процессе разборки выстрелов сортируются по качественному состоянию и по марке (ПП-4, ПП-5, ПП-7).

В процессе осмотра отбраковываются пиропатроны с механическими повреждениями корпусов, неисправными контактами, сильно прокорродированными корпусами и с обрывом мостика накаливания. Проверка исправности мостиков накаливания пиропатронов производится индикатором повреждения (рис. 280) при силе тока не более 50 миллиампер. Источник тока — стандартная батарейка

КБС-035. Проверяемый пиропатрон вручную устанавливают на средний контакт прибора (5) и одновременно прижимают корпус пиропатрона к скобе (4), замыкая таким образом цепь индикатора ИПМ. При целости мостиков накаливания пиропатронов стрелка индикатора отклонится вправо и покажет напряжение батарейки КБС-035. В случае проверки пиропатронов с оборванными мостиками накаливания стрелка индикатора остается неподвижной. При проверке исправности цепи электрозапалов, соединенных с воспламенителем, последний должен помещаться в пустую металлическую пороховую цинку. Время проверки исправности мостиков накаливания пиропатронов не должно превышать более 5 сек. Годные пиропатроны составляются в сборные партии в количестве не более 7 200 шт. Отбракованные пиропатроны сжигаются.

Воспламенители подвергаются сортировке на годные и негодные. Годные воспламенители укупориваются в пороховую герметическую укупорку. Воспламенители с негодными диафрагмами вынимаются из диафрагм и укладываются отдельно. Негодные воспламенители, негодные диафрагмы, воспламенители с рваными картузами уничтожаются сжиганием. В исправных воспламенителях с неисправными электрозапалами последние извлекаются, воспламенители зашиваются и хранятся без электрозапалов.

Ремонт боевых частей заключается:

а) в снятии негодного антикоррозийного покрытия, очистке наружной поверхности корпуса, дна и резьбы очка под взрыватель от ржавчины;

б) в контроле очка под взрыватель, в подлакировке среза ВВ, его исправлении и осалке резьбы очка;

в) в исправлении мелких повреждений резьбы дна;

г) в окраске или осалке наружной поверхности;

д) в маркировке и укупорке боевых частей.

Наружная поверхность боевых частей очищается от негодного антикоррозийного покрытия и ржавчины на механических станках; вращающаяся боевая часть очищается металлическими щетками, кардолентой, наждачным полотном, толченым кирпичом. Во всех случаях чистки очко под взрыватель должно быть закрыто.

Химическая чистка боевых частей с применением кислот или щелочей запрещается. При очистке наружной поверхности боевых частей на станках не допускается сильный нагрев, могущий вызвать оплавление взрывчатого вещества.

Очистка резьбы очка под взрыватель и резьбы дна боевой части от ржавчины производится щетками из кардоленты или специальным ершом из стальной проволоки, диаметром не более 0,5 мм.

Забитость резьбы очка под взрыватель исправляется калибрующими метчиками. Срез взрывчатого вещества перед калибровкой закрывается картонной или латунной прокладкой.

Сколы и осыпания взрывчатого вещества, при отсутствии разрушения среза ВВ, зачищаются латунным скребком до удаления острых кромок и протираются от пыли ВВ ветошью, смоченной в спирте.

Срез ВВ и резьбовая часть очка, при отсутствии или нарушенной лакировке, залакировывается шеллачным, шеллачно-канифольным лаком или лаком № 67 ровным тонким слоем без просветов и наплывов. Боевые части, имеющие течь взрывчатого вещества или разрушенный дополнительный детонатор из пикриновой кислоты, отбраковываются и ремонту не подлежат, как опасные в обращении.

Глубина посадки дополнительного детонатора проверяется калибрами и должна строго соответствовать чертежам. Боевые части с ростом (выпучиванием детонатора) более 1 мм, не поддающиеся исправлению, зачисляются в 4 категорию (Указания о дальнейшем их использовании дается ГАУ ВС).

Резьба очка осаливается тонким ровным слоем пушсмазки и затем вворачивается холостая пробка, стык которой с корпусом боевой части промазывается петролатум-парафиновой смазкой.

Ремонт реактивных частей заключается:

а) в очистке наружной и внутренней поверхностей реактивных камор от негодного антикоррозийного покрытия и ржавчины;

б) в очистке от негодного антикоррозийного покрытия и ржавчины наружной поверхности стабилизаторов и очистке от ржавчины сопла и колосниковой решетки;

в) в лакировке внутренней поверхности реактивных частей;

г) в окраске или осалке наружности повехности реактивных камор и стабилизаторов;

д) в исправлении погнутостей стабилизатора.

Чистка наружной поверхности камор и стабилизаторов производится на станках с вращающимися стальными щетками или вручную с помощью кардолентных щеток, стальных щеток, наждачного полотна. При сильной ржавчине допускается смачивание поверхности керосином или скипидаром.

Внутренняя поверхность камор чистится на станках, пескоструйных аппаратах или вручную. Для снятия негодного антикоррозийного покрытия лака № 67 разрешается применять бензол, для снятия пленки лака № 177 — скипидар или уайт-спирт. Резьба на каморе и корпусах пиросвечей чистится вручную или на специальных станках наждачным полотном или стальными щетками. После очистки реактивные части тщательно протираются и подвергаются 100% контролю на качество очистки.

В процессе ремонта и осмотра отбраковываются реактивные части, имеющие неисправимые в цехах арсеналов, баз и складов дефекты, а именно: с оторванными крыльями стабилизаторов, с погнутыми направляющими штифтами или штуцерами, с вмятинами, трещинами и забитостью резьбы, не поддающимися исправлению.

При полном ремонте реактивных боеприпасов инструментальной проверке подвергаются:

а) резьба очка в боевых частях и посадка дополнительного детонатора на 100%;

б) расположение крыльев стабилизатора и их положение относительно направляющих штифтов;

в) высота шейки штифтов на 100%;

г) резьба боевых и реактивных частей после очистки от сильной ржавчины на 100%. Допускается ввинчивание непроходных калибров в резьбу каморы или навичивание на резьбу дна не более чем на два оборота.

После произведенного ремонта боевых и реактивных частей они подвергаются окраске, лакировке или осаливанию. Перед этими операциями поверхности подвергаются обезжириванию, проводимой два раза: первый раз детали протираются ветошью, смоченной уайт-спиртом или скипидаром, второй раз — ветошью, смоченной в этиловом спирте. Прикасаться голыми руками к обезжиренной поверхности боевых и реактивных частей воспрещается.

Окраска боевых частей, камор и стабилизаторов производится в два приема:

а) грунтовка серо-голубой или серо-дикой пастой;

б) окраска серо-дикой краской, разведенной на олифе, причем применение искусственной олифы не допускается.

Сушка боеприпасов после грунтовки и окраски производится в крытых помещениях, защищенных от ветра, песка, пыли или же в специальных сушилках при температуре не выше 40° С. Сушка боеприпасов на солнце запрещается. Пленка краски после полного высыхания должна лежать ровным слоем—без просветов, не должна морщиться и пузыриться, отставать от поверхности или легко соскабливаться.

Резьба дна боевой части, направляющие штифты, пиросвечи и резьба каморы не окрашиваются, а осаливаются пушечной смазкой ровным слоем, без просветов.

Внутренняя поверхность реактивных камор, крышек-сопло обезжиривается указанным выше методом и затем два раза лакируется лаком № 177 (пульверизатором или вручную кистями).

Если внутренняя поверхность камор поражена ржавчиной в отдельных местах, то разрешается местная зачистка поверхности и местная подлакировка лаком № 177.

В каморах снарядов М-13 УК тангенциальные отверстия заклеиваются по внутренней поверхности каморы бумажными лентами и поверхность ленты после заклейки залакировывается. Тангенциальные отверстия снаружи, после грунтовки каморы, обертываются миткалевой лентой (шириной 15 мм) на два оборота и затем производится покраска наружной поверхности.

Картонные тарели ставятся на лаке № 177, а стык большой тарели с соплом промазывается суриковой замазкой.

Осаливание головной и реактивной частей производится либо вручную протиранием промасленной ветошью, либо погружением в пушечную смазку или смазку ПП 95/5 (петролатум-парафиновая смазка). Погружение головной и реактивной частей в расплавленную смазку необходимо производить медленно во избежание образования пузырьков на пленке, а вынимать быстро для получения равномерного покрытия. Изделия, погруженные в расплавленную смазку, надо выдерживать при температуре 80 — 90° С в течение 3—5 сек. Пленка смазки на изделиях должна быть ровной — без просветов и пузырьков, толщиной 0,8 — 1,5 мм.

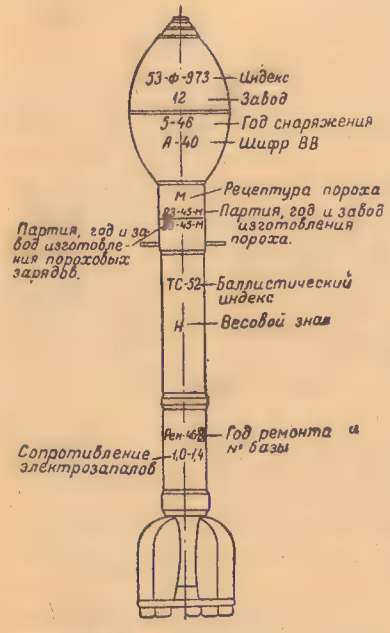


Рис. 281. Схема маркировки при ремонте.

На отремонтированные изделия черной краской наносится следующая маркировка (рис. 281):

а) на боевой части — индекс изделия, номер базы, номер сборной партии, год составления, шифр ВВ;

б) на реактивной части — время и место ремонта, рецептура пороха, номер партии пороха, год и завод—изготовитель, номер партии зарядов, год и завод, производивший развеску зарядов.

После проведения ремонта боевые и реактивные части хранятся в штатной укупорке или на рамах. Боевые и реактивные части в местах соприкосновения с арматурой должны быть обернуты бумажными полосками, пропитанными пушечной смазкой. Хранение отремонтированных частей может производиться либо раздельно в укупорке, либо комплектно в штатной укупорке, либо, для экономии крытой площади — на рамах (в этих случаях у реактивных частей вынуты воспламенители и пиропатроны).

Отремонтированные боеприпасы должны немедленно завозиться в хранилища под навесы или укрываться брезентом. Хранить их на площадках открытыми, хотя бы временно, запрещается.

3. Малый ремонт

Реактивные выстрелы с сохранившейся маркировкой на каморах сортируются по калибрам, баллистическим индексам и партиям пороховых зарядов, Выстрелы без маркировки пороховых зарядов и

при невозможности установления маркировки по учетным данным на центральных базах подлежат разборке на элементы; в окружных складах и войсковых частях сводятся в сборные партии. При этом в первую очередь расходуются снаряды М-13 при температуре от —10°С до +25°С.

После рассортировки и малого ремонта составляются сборные партии выстрелов одного чертежа с одинаковым баллистическим индексом, однородного снаряжения боевых частей по разрывному заряду и дополнительному детонатору, одной рецептуры пороха, одного года и одного завода изготовления пороховых зарядов. На выстрелах, составленных в сборные партии, наносятся следующие трафареты:

на боевой части — индекс, номер сборной печати, год составления, номер склада, производившего составление, шифр ВВ;

на реактивной части — рецептура пороха, год и завод-изготовитель зарядов, номер сборной партии, год составления, номер склада, производившего составление, и баллистический индекс.

На укупорке сборных партий выстрелов М-13 и М-20, составленных из выстрелов без маркриовки, наносить трафарет «Стрелять от — 10° С до + 25° С».

В процессе малого ремонта отбраковываются выстрелы, имеющие следующие недостатки: механическое повреждение боевых частей с оголением ВВ, помятость крыльев стабилизатора, сломанные направляющие штифты или штуцера, механическое повреждение камор, течь взрывчатого вещества, разрушение дополнительного детонатора из пикриновой кислоты, забитая резьба очка под взрыватель. Отбракованные выстрелы по вышеперечисленным дефектам подлежат разборке на элементы.

Малый ремонт элементов выстрелов, боевых и реактивных частей, а также взрывателей и пиропатронов, производится в соответствии с требованиями полного ремонта, но с меньшим объемом работ.

Для малого ремонта предохранительная смазка удаляется при необходимости. Очистка от незначительной ржавчины производится вручную, без применения станков. Миткалевая лента со снарядов М-13 УК не снимается до полного удаления ржавчины. После очистки всей поверхности от ржавчины миткалевая лента снимается и производится очистка от ржавчины поверхности под лентой и пиросвечой. Ржавчина под изолентой и на заглушках пиросвечей снимается наждачным полотном. Незначительные погнутости крыльев стабилизаторов исправляются деревянными, латунными или бронзовыми молотками.

Частично или полностью стертая в процессе ремонта маркировка на боевых частях и каморах восстанавливается, и на каморе наносится трафарет о времени и месте ремонта.

Герметизация тангенциальных отверстий у снарядов УК производится тем же способом, что и при полном ремонте.

В процессе малого ремонта перед лакировкой и осалкой проверяется:

1) состояние стабилизаторов — осмотром на 100%, а в случае исправления погнутостей стабилизаторов или очистки их от ржавчины — проймой;

2) высота шейки штифтов — шаблонами на 100%;

3) глубина посадки дополнительного детонатора — выборочно, а при обнаружении выпучивания детонаторов — на 100%. Поверхность боевых частей и камор выстрелов М-8 и М-13, за исключением стабилизаторов, осаливается погружением в расплавленную пушечную смазку. Снаряды М-31 осаливаются вручную.

Ремонт укупорки реактивных боеприпасов производится в соответствии с требованиями на ремонт укупорки общих артиллерийских снарядов.

После укупорки снарядов на укупорочных ящиках наносятся все знаки маркировки, характеризующие боевую и реактивные части, с добавлением надписи о ремонте. Старая маркировка должна быть либо счищена, либо закрашена.

ТАБЛИЦА КОНСТРУКТИВНЫХ ДАННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

Характеристика	Снаряд			
	М-8	М-13	М-20	М-31
1. Камора				
Общая длина, мм	336	650	650	1215[1]
Наружный диаметр, мм	79,8	131,7	131,7	138
Толщина стенки, мм	3—3,5	3,5—4,5	3,5—4,5	5,0—6,0
Объем каморы, л	1,31	7,48	7,48	12,12
2. Боевая часть				
Общая длина, мм	175	480	1250	480
Наружный диаметр, мм	81	130	130	300
Толщина стенок, мм	7—8	12—13	4,5—5,0	7—8
Толщина дна, мм	8	12,5—15	12,5—15	13,5—17
Объем под ВВ, л	0,41	3,15	11,8	19,0
3. Крышка-сопло				
Общая длина, мм	137	255	255	выполнено с каморой
Длина раструба, мм	100	160	160	120
Критический диаметр, мм	19	37,5	37,5	45
Выходной диаметр, мм	43	75	75	76,5
Угол раструба сопла	14°	14°	14°	14°

[1]) Вместе с крышкой—соплом.

ТАБЛИЦА КОНСТРУКТИВНЫХ ДАННЫХ НЕМЕЦКИХ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ НАЗЕМНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

Характеристики	Снаряд				
	15-см	28-см	32-см	21-см	30-см
1. Камора					
Общая длина с дном, мм	505	505	505	640	580
Наружный диаметр, мм	140	140	140	210	210
Толщина стенки каморы, мм	6,0	6,0	6,0	10	10
Толщина дна каморы, мм	20	18	18	20	3
Объем каморы в л	5,7	5,7	5,7	18	15,9
2. Боевая часть					
Общая длина с дном и взрывателем, мм	390	760	780	600	690
Наружный диаметр, мм	128	272	334	209	294
Толщина стенок, мм	5	2	2	18	3
Толщина дна, мм	15	7	7	4	30
Объем под ВВ, л	1,3	31,0	—	5,7	30,3
3. Турбинка					
Длина, мм	75	75	75	45	35
Наибольший диаметр, мм	158	158	158	214	216
Число сопел, мм	26	26	26	22	22
Диаметр критического сечения сопла, мм	5,5	5,5	5,5	9,2	8
Угол раструба, град.	15	15	15	16	16
Наклон сопел, град.	14	14	14	14	14

[1]) Взято из работы Пойда Ф. Н.—Проектирование реактивных снарядов, изд. Артакадемии.

$\varepsilon_{max} = f(N)$

N	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,543	0,551	0,559	0,567	0,574	0,580	0,586	0,592	0,598	0,603
1	0,608	0,613	0,618	0,623	0,628	0,632	0,636	0,639	0,642	0,645
2	0,648	0,651	0,654	0,657	0,660	0,663	0,666	0,669	0,672	0,675
3	0,678	0,681	0,684	0,686	0,688	0,690	0,692	0,694	0,696	0,698
4	0,700	0,702	0,704	0,706	0,708	0,710	0,712	0,714	0,716	0,718
5	0,720	0,722	0,724	0,726	0,728	0,730	0,732	0,733	0,734	0,735
6	0,736	0,737	0,738	0,739	0,740	0,741	0,742	0,743	0,744	0,745
7	0,746	0,747	0,748	0,749	0,750	0,751	0,752	0,753	0,754	0,755
8	0,756	0,757	0,758	0,759	0,760	0,761	0,762	0,763	0,764	0,765
9	0,766	0,767	0,768	0,769	0,770	0,771	0,772	0,773	0,774	0,775
10	0,776	0,777	0,778	0,779	0,780	0,781	0,781	0,782	0,782	0,783
11	0,783	0,784	0,784	0,785	0,785	0,786	0,786	0,787	0,787	0,788
12	0,788	0,789	0,789	0,790	0,790	0,791	0,791	0,792	0,792	0,793
13	0,793	0,794	0,794	0,795	0,795	0,796	0,796	0,797	0,797	0,798
14	0,798	0,799	0,800	0,800	0,801	0,801	0,802	0,802	0,803	0,803
15	0,804	0,804	0,804	0,805	0,805	0,806	0,806	0,806	0,807	0,807
16	0,808	0,808	0,808	0,809	0,809	0,810	0,810	0,810	0,811	0,811
17	0,812	0,812	0,812	0,813	0,813	0,814	0,814	0,814	0,815	0,815
18	0,816	0,816	0,816	0,817	0,817	0,818	0,818	0,818	0,819	0,819
19	0,820	0,820	0,820	0,821	0,821	0,822	0,822	0,822	0,823	0,823
20	0,824	0,824	0,824	0,825	0,825	0,826	0,826	0,826	0,826	0,827
21	0,827	0,827	0,828	0,828	0,828	0,829	0,829	0,829	0,829	0,830
22	0,830	0,830	0,831	0,831	0,831	0,832	0,832	0,832	0,832	0,833
23	0,833	0,833	0,834	0,834	0,834	0,835	0,835	0,835	0,835	0,836
24	0,836	0,836	0,836	0,836	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837	0,837

Приложение 4

КЛАССИФИКАЦИЯ ПО ГРУППАМ И КЛАССАМ ЧИСТОТЫ (ПО ГОСТ 2789-45)

№	Группы чистоты			Классы чистоты		
	наименование поверхностей	обозначение	микроны	№	обозначение	$H_{ск}$ микроны
I	Грубые	▽	100—12,5	1	▽1	100—50
				2	▽2	50—25
				3	▽3	25—12,5
II	Получистые	▽▽	12,6—1,6	4	▽▽4	12,5—6,3
				5	▽▽5	6,3—3,2
				6	▽▽6	3,2—1,6
III	Чистые	▽▽▽	1,6—0,2	7	▽▽▽7	1,6—0,8
				8	▽▽▽8	0,8—0,4
				9	▽▽▽9	0,4—0,2
IV	Весьма чистые	▽▽▽▽	0,2—0	10	▽▽▽▽10	0,2 —0,1
				11	▽▽▽▽11	0,1 —0,05
				12	▽▽▽▽12	0,05 —0,025
				13	▽▽▽▽13	0,025—0,012
				14	▽▽▽▽14	0,012—0,000

Приложение 5

ЧИСТОТА ПОВЕРХНОСТИ, СООТВЕТСТВУЮЩАЯ РАЗЛИЧНЫМ МЕТОДАМ ОБРАБОТКИ

Методы обработки	$H_{ск}$ μ	$H_{макс}$ μ	Класс по ГОСТ
Точение, строгание, расточка черновые	12,5—400	37—600	3 и грубее
Точение, строгание, расточка чистовые	1,6—12,5	6,3—37	4—6
Точение, строгание, расточка тонкие	0,1—1,6	0,5—6,3	7—10
Фрезерование черновое	6,3—100	19—200	1—4
Фрезерование чистовое	0,8—6,3	3,2—19	5—7
Развертывание предварительное	0,8—1,6	3,2—6,3	7
Развертывание окончательное	0,2—0,8	0,8—3,2	8—9
Протягивание чистовое	0,4—1,6	1,6—6,3	7—8
Протягивание отделочное	0,1—0,4	0,5—1,6	9—10
Шлифование грубое	0,8—3,2	3,2—10	6—7
Шлифование чистовое	0,4—0,8	1,6—3,2	8
Шлифование тонкое	0,1—0,4	0,5—1,6	9—10

Приложение 6

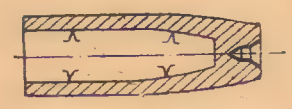
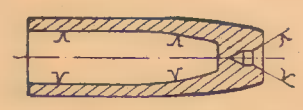
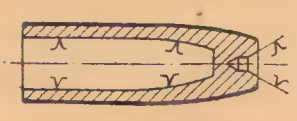
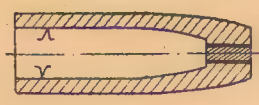
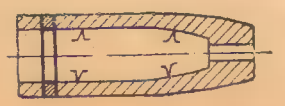
МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

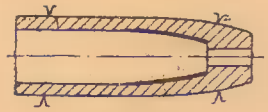
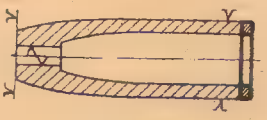
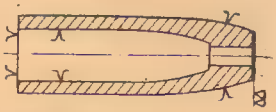
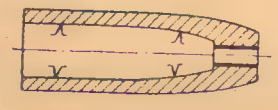
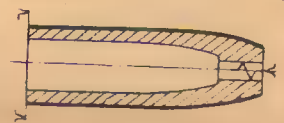
№ п/п	Наименование	Назначение	Примечание
1	2	3	4
	1. Металлы		
1	Сталь листовая декапированная	штамповка стабилизатора	ГОСТ 380-41
2	Сталь углеродистая горячекатанная	штамповка дна, боевой части и других деталей	
3	Сталь углеродистая и легированная горячекатанная (труба)	изготовление каморы	
4	Сталь катанная полосовая	изготовление диафрагмы	Ст-3 ГОСТ 103-41
5	Сталь качественная конструкционная калиброванная	изготовление деталей пиросвечи, направляющих штифтов	Ст-35 ГОСТ В-1050-41
6	Латунь прутковая тянутая	изготовление деталей пиросвечи	ГОСТ В-1019-41
7	Свинец рольный	прокладки под пиросвечу, для освинцевания ванны	
	2. Пластики, керамика		
1	Фибра прутковая	изготовление деталей пиросвечи	
2	Эбонит листовой	изготовление подвесок при оцинковке	
	3. Нефтепродукты и смазочные материалы		
1	Бензин авиационный	для промывки деталей	ГОСТ 1012-42
2	Бензин	для обезжиривания деталей	
3	Керосин	для чистки деталей	
4	Пушечное сало снарядное	для смазки деталей	ГОСТ 3005-45
5	Масло трансформаторное	для разбавления пушечной смазки	ГОСТ 982-43
6	Масло машинное	То же	
7	Веретенное масло	для термообработки деталей и нарезки резьб на автомате	
8	Растительное масло (льняное)	для нарезки резьбы штифтов	
9	Мазут	для смазки штамповочного инструмента	

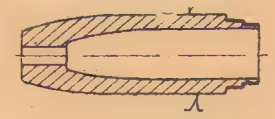
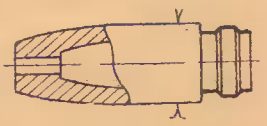
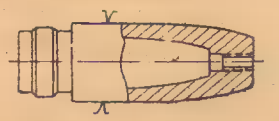
№ п/п	Наименование	Назначение	Примечание
1	2	3	4
	4. Химикаты, краски, лаки		
1	Лак № 177	для лакировки каморы, крыльев стабилизатора (внутри)	ТУ/НКХП 333-44
2	Лак № 67	для лакировки боевой части	
3	Сода кальцинированная	для нейтрализации при травлении, приготовление эмульсии	
4	Сода каустическая	для травления	
5	Мыло хозяйственное	для изготовления эмульсий и суспензий	
6	Канифоль	для изготовления лаков	
7	Олифа	приготовление краски и шпаклевки	ОСТ НКТП = 520
8	Лак шеллачный	для лакировки срезов и торцев ВВ	
9	Спирт ректификат	для приготовления канифольного лака, промывки деталей, изготовления красок	
10	Жидкое стекло	для сварки и гальванических работ	
11	Краски цветные сухие	для закраски деталей и маркировки	
12	Уайт-спирт	для растворения лака 177 и смывания лака	
13	Серная кислота	для травления деталей	
14	Паста масляная серо-голубая и серо-дикая	для изготовления масляной краски	ГОСТ В-1031-41
15	Краска штемпельная	для маркировки ящиков при укупорке	
16	Сиккатив	для изготовления масляной краски	ГОСТ 1003-41
17	Суриковая замазка	для шпаклевки деталей	
18	Нитрат натрия	для приготовления эмульсий	
19	Кислород	для резки заготовок	
20	Карбид кальция		
21	Древесный уголь	для подсыпки при штамповке	
22	Соляная кислота	для гальванических работ	
23	Сернокислый цинк		
24	Сернокислый натрий		
25	Алюминиевые квасцы		
26	Борная кислота		
27	Декстрин		
28	Нитролак		
29	Цинк чистый анодный	для оцинковки	
30	Сульфат натрия		
31	Тринатрий фосфат		
32	Сурик свинцовый	для изготовления шпаклевки	
33	Белила цинковые		

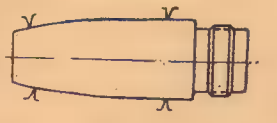
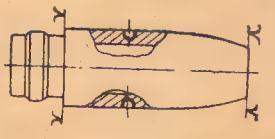
№ п/п	Наименование	Назначение	Примечание
1	2	3	4
	5. Текстиль		
1	Салфетная ткань	для протирки деталей перед гидроиспытанием	
2	Тесьма	для заклейки отверстий	
3	Бязь	для протирки деталей	
	6. Разные материалы		
1	Наждачное полотно	для чистки деталей	
2	Мел молотый	для изготовления шпаклевки	
3	Бумага оберточная		
4	Крокус	для приготовления суспензии	
5	Медь красная	для электродов при сварке стабилизатора	
6	Песок кварцевый	для пескоструйного аппарата	
7	Опилки древесные	для прочистки деталей	
8	Нигрозин	для изготовления черной краски	
9	Шеллак		
10	Сажа голландская	для маркировки	

ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ БОЕВОЙ ЧАСТИ СНАРЯДА М-13

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
1	Центровка		Токарный		Центровальное сверло	Шаблон
2	Клеймение					
3	Обдирка оживальной части		Токарный полуавтомат	Копир	Обдирочный резец	Шаблон
4	Обдирка поверху		Токарный полуавтомат	Копир Разжимная оправка	Обдирочный резец	Скоба, шаблон д/оживала
5	Сверление очка		Токарный		Сверло	Пробка
6	Отрезка прибыли		Токарный	Разжимная оправка	Отрезной резец	Глубомер

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
7	Расточка дна каморы /2 прохода/		Токарный	Зажимная цанга	Перка	Шаблон
8	Окончательная планировка большого торца		Токарный	Зажимная цанга	Подрезной резец	Глубомер
9	Перенос литера плавки			Молоток	Клеймо	
10	Окончательная планировка малого торца		Токарный	Зажимная, цанга, упор	Подрезной резец	Скоба на длину
11	Окончательная расточка очка		Токарный	Разжимная оправка	Расточный резец	Пробка
12	Предварительная и окончательная проточка по наружному профилю		Токарный полуавтомат	Разжимная оправка. Копир	Проходной резец	Шаблон, скоба

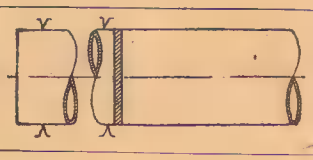
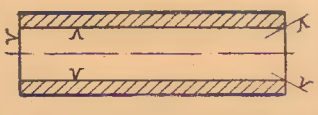
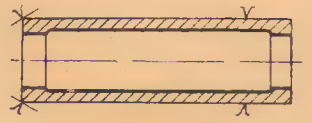
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
13	Перенос литера плавки	Литер плавки ставится на оживальной части на 100 мм от малого торца	—	Молоток	Клеймо	—
14	Предварительная и окончательная проточка под резьбу и направляющую		Токарный	Цанга, упор	Проходной резец	Скобы, шаблон
15	Выточка резьбовой канавки и снятие фаски		Токарный	Цанга, упор	Фасонный резец	Скоба, шаблон.
16	Выточка зарезьбовой площадки и снятие фаски в очке		Токарный	Цанга, упор	Фасонный подрезной резец	Шаблон. Нутромер
17	Фрезеровка резьбы очка		Резьбо-фрезерный	Зажим, копир	Резьбо-фрезер	Калибр. Резьбовой калибр
18	Калибровка резьбы по мере надобности до 40%		—	Тиски. Вороток	Метчик	Гладкий калибр. Резьбовой калибр. Щуп

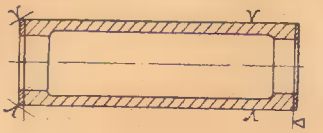
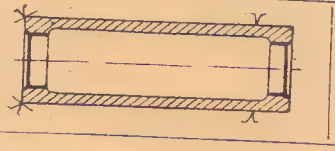
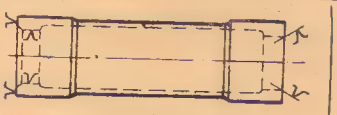
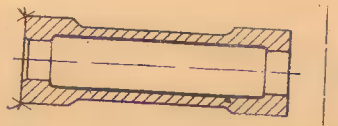
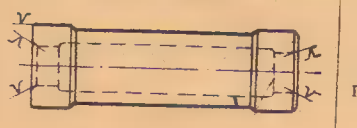
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
19	Фрезеровка наружной резьбы		Резьбо-фрезерный	Зажимная цанга. Копир	Резьбо-фрезер	Скоба. Резьбовой калибр
20	Калибровка наружной резьбы до 50%		—	Тиски, клупп	Плашка	Скоба, резьбовой калибр
21	Протирка и осалка	1. Обе резьбы протереть насухо и очистить бензином. 2. Наружн. и внутрен. резьбы смазать трансформ. маслом				
22	Сверление 2-х ключевых отверстий		Сверлильный	Кондуктор	Сверло	Калибр специальный
23	Подгонка по весу	Подгонка за счет наружного профиля в пределах допусков	Полуавтомат токарный	Разжимная оправка. Копир	Проходной резец	Скоба. Шаблон
24	Опескоструивание, продувка, смазка каморы	1. Опескоструить камору 2. Продуть камору 3. Смазать скипидаром или трансформаторным маслом	1. Пескоструйный аппарат. 2. Воздушный пистолет	Наконечник. Пробка в очко. Песок сухой кварц. Скипидар трансформаторное масло		

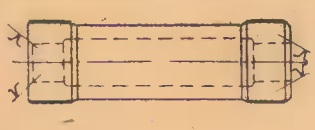
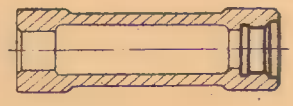
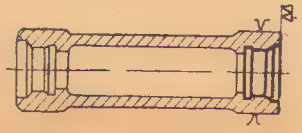
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
25	Зачистка заусенцев и чистка поверху		Точильный		Напильник. Наждачный порошок	
26	Протирка в опилках и продувка воздухом		Верстак	Ванна. Воздушный кран	Опилки древесные	
27	Прогонка резьбы очка		Верстак	Тиски. Воротоk	Метчик	Калибр
28	Прогонка наружной резьбы		Верстак	Тиски. Клупп	Плашка	Скоба Кольцо
29	Протирка бензином	Промыть бензином. Протереть насухо. Протереть бензином. Брать голыми руками после протирки нельзя				
30	Нарезка резьбы под стопор в двух отв.		Резьбо-нарезной		Метчик	Калибр резьбовой
31	Зачистить заусенцы на всех отверстиях				Напильник личной	
32	Чистка каморы и поверху			Приспособление для чистки	Щетка стальная Наждачное полотно	

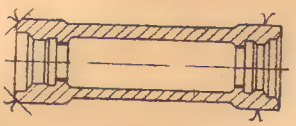
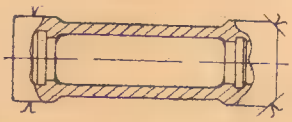
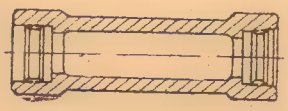
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
33	Прогонка резьб		Стол	Тиски. Воротоk	Метчики	
34	Протирка бензином					
35	Осалка кругом. Смазку производить составом: 1. Пушсало 30% ГОСТ 3005—45 2. Масло трансформаторное 60% ГОСТ 982—43 3. Безин 10% ГОСТ 462—41					

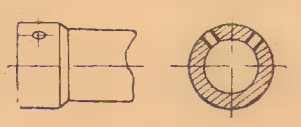
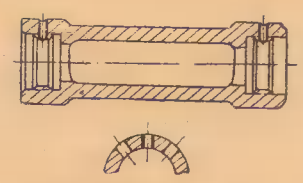
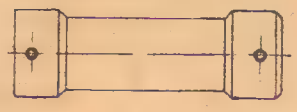
ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ КАМОРЫ СНАРЯДА М-13

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
1	Резка трубы на отдельные заготовки		Отрезной		Отрезной резец	Шаблон
2	Клеймение литера плавки				Молоток, набор клейм	
3	Обдирка поверху		Токарный многорезцовый полуавтомат.	Разжимная оправка	Обдирочный резец	Скоба
4	Клеймение литера плавки		Стол		Молоток, набор клейм	
5	Расточка каморы изнутри /2 прохода/		Револьверный	Копирное устройство	Резец расточной	Нутромер. Шаблон
6	Термообработка					

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
7	Планировка торцов		Токарный	Зажимное. Упор	Подрезной резец	Шаблон
8	Клеймение литера плавки				Молоток 1 кг Набор клейм	
9	Расточка диаметров на концах каморы		Токарный	Цанга	Расточной резец	Пробка
10	Предварительная проточка наружного профиля		Токарный полуавтомат.	Центр. Копир	Проходной резец	Скоба. Шаблон
11	Окончательная расточка каморы		Токарно-револьверный	Зажимное. Копирное устройство	Расточной резец	Шаблон. Нутромер. Штихмасс
12	Окончательная проточка цилиндрической части и центрующих утолщений предварительно		Токарный полуавтомат.	Центр. Копирное устройство	Проходной резец	Скоба. Шаблон

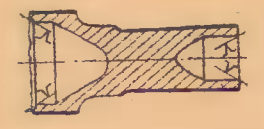
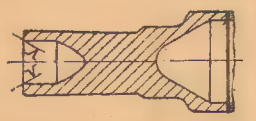
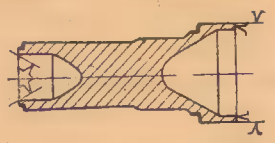
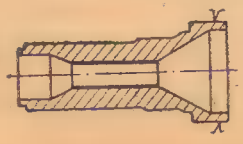
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
13	Проточка центрующих утолщений окончательно		Токарный	Центр.	Проходной резец	Скоба. Шаблон
14	Проверка толщины стенки					
15	Клеймение литера плавки				Молоток 1 кг Набор клейм	
16	Смазка каморы. Масло трансформаторное с добавкой 25% пушсала, ветошь.					
17	Бринеллирование. Произвести отпечаток Бринелля с 2-х сторон		Пресс		Шарик ∅ 10 Клейма	Лупа спец. Часы песочные 15 сек.
18	Окончательная расточка под резьбу и подрезка торца как чисто		Токарный	Зажимная цанга	Резец фасонный Резец подрезной	Шаблоны. Калибры. Нутромер
19	Окончательная расточка под резьбу ■ подрезка торца в размер		Токарный	Зажимная цанга	Резец фасонный Резец подрезной	Шаблоны. Калибры. Нутромер

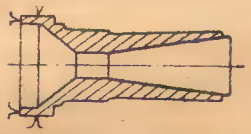
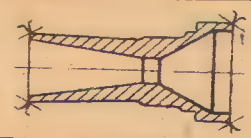
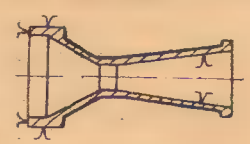
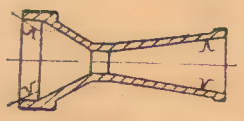
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
20	Окончательная расточка /с обоих концов/		Револьверный	Зажимная цанга	Расточной резец	Калибр
21	Подбор радиусов		Токарный	Зажимная цанга	Резец расточн.	Нутромер. Шаблон
22	Фрезеровка резьбы		Резьбо-фрезерный	Копир	Резьбо-фрезер	Калибр резьбов.
23	Очистка детали	После калибровки деталь очистить от масла и грязи бензином, затем деталь протереть насухо ветошью. Резьбы обоих конусов смазать трансформаторным маслом с добавлением 25% пушсала				
24	Гидравлическое испытание		Гидропресс		Клеймо	Микрометр. Часы песочн. 30 сек.

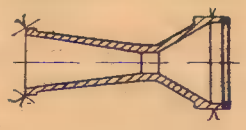
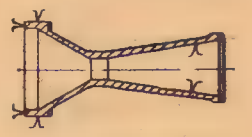
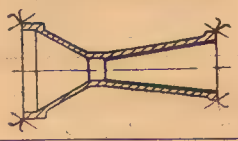
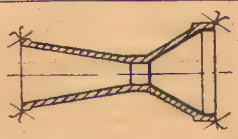
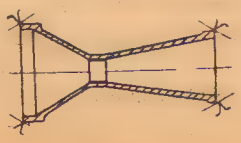
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
25	Дефектоскопия		Дефектоскоп		Клеймо	
26	Сверление 2 отверстий под пиросвечу		Сверлильный	Кондуктор. Втулка	Сверло	Пробка
27	Сверление 2-х отверстий под штифт		Сверлильный	Кондуктор. Втулка	Сверло	Пробка
28	Сверление 2-х отверстий под стопор		Сверлильный	Кондуктор. Втулка	Сверло	Пробка
29	Нарезка резьбы под пиросвечу. Нарезка резьбы под штифты		Стол	Вороток	Метчик	Калибр резьбовой

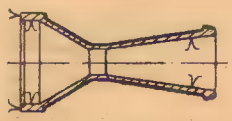
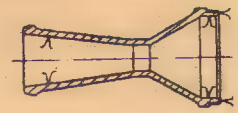
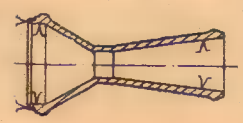
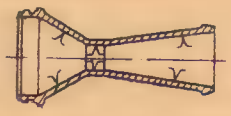
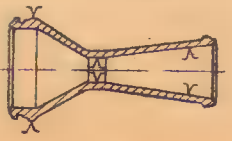
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
30	Зенковка 2-х отв.		Сверлильный	Приспособл.	Развертка	Калибр
31	Сверление 12-ти тангенциальных отверстий		Сверлильный	Кондуктор. Втулка	Сверло Шаблон для заточки сверла	Калибр

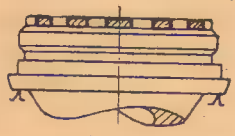
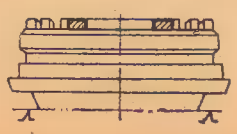
ПЕРЕЧЕНЬ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ КРЫШКИ – СОПЛА СНАРЯДА М-13

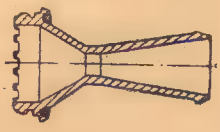
№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
1	Обдирка поверху тумбы и хвоста		Токарный	Копир. Центр	Резец проходной	Скоба
2	Клеймение		Верстак			
3	Подрезка торца тумбы		Токарный	Зажимная цанга	Резец подрезной	
4	Подрезка торцов хвоста и тумбы		Токарный	Центр	Подрезной резец	Скоба. Шаблон
5	Сверление отверстия		Револьверный		Сверло	Пробка

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
6	Зенкерование раструба		Револьверный	Зажимное	Зенкер	Шаблон
7	Предварительная расточка тумбы			Зажимное. Копир	Резец расточной	Шаблон. Калибр
8	Проточка поверху		Токарный	Зажимное. Центр. Копир	Резец проходной	Скоба. Шаблон
9	Термообработка					
10	Клеймение	Постановка клейма вручную на наружной поверхности входного конуса				
11	Обточка тумбы и направляющей хвоста		Токарный	Копир. Центр	Резец проходной	Скобы

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
12	Окончательная планировка тумбы		Токарный	Упор	Резец подрезной	Шаблон
13	Планировка торцов хвоста и тумбы		Токарный	Центр	Резец подрезной	Скоба
14	Расточка раструба		Токарно-револьверный	Копир	Резец расточной	Калибр. Шаблон
15	Расточка конуса тумбы		Токарно-револьверный	Копир	Резец расточной	Калибр. Шаблон
16	Развертывание критического отверстия /2 перехода/		Токарно-револьверный		Развертка	Калибр

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
17	Протирка бензином и лакировка внутренней поверхности. До протирки бензином—протирка сухими опилками					
18	Окончательная обточка наружного профиля		Токарный полуавтомат.	Центр, Копир	Резец проходной и подрезной	Скоба. Шаблон
19	Проточка под резьбу /предварительная/		Токарный	Центр	Резец проходной	Скоба. Шаблон
20	Предварительн. проточка центрирующего пояска		Токарный	Центр	Резец проходной	Скоба. Шаблон
21	Проточка ската и выточка канавки под резьбу		Токарный		Резец фасонный	Скобы. Шаблоны
22	Расточка цилиндра у торца хвостовика		Токарный	Центр Упор поперечный	Резец расточной	Шаблон

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
23	Фрезеровка резьбы		Резьбо-фрезерный	Зажим. Копир	Резьбовая фреза	
24	Калибровка резьбы		Верстак	Тиски	Клупп с плашкой	Калибры. Скоба. Щуп
25	Бринеллирование		Пресс Бринелля	Подставка	Шарик ∅ 5 мм	
26	Гидр. испытания. Деталь испытывается на прочность резьбы на срез гидр. давлением 300 атм с выдержкой 30 сек.		Пресс д/гидр. испытаний			
27	Чистка и протирка насухо (бензином и древесными опилками) ручн.					
28	Контроль на дефектоскопе и протирка сухими опилками		Дефектоскоп.			
29	Фрезеровка 5-ти пазов		Гориз.-фрез. станок		Набор фрез	Калибр. Скоба
30	Фрезеровка 2-х пазов		Гориз.-фрез. станок		Набор фрез	Шаблон. Калибр.

№ операции	Наименование операции	Эскиз обработки	Станок	Приспособление	Режущий инструмент	Мерительный инструмент
31	Зачистка заусенцев					Напильник личной. Шабер. Камень
32	Подгонка веса		Токарный		Резец проходной	

ЛИТЕРАТУРА

1. Арш — Основные вопросы проектирования реактивных зарядов. Артакадемия 1948 г.
2. Ахметшакиров.— Исследование влияния весовых характеристик ступенчатых реактивных снарядов на их скорость. НИИ-4. Изд. 1947 г.
3. Боеприпасы гвардейских минометных частей. ГАУ ВС. 1944 г.
4. Васильев — Оптимальные параметры кумулятивного заряда. НИИ-6. Диссертация. 1946 г.
5. Гантмахер и Левин — О рассеивании противотанковых оперенных реактивных снарядов. Труды ЦАГИ. 1945 г.
6. Граве — К вопросу об увеличении скорости ракетных снарядов. Сборник Арткома № 5. 1946 г.
7. Долгов — Проектирование пусковых установок для реактивных снарядов. Артакадемия. 1948 г.
8. Информационный листок ГАУ ВС (комплект 1943—1944 гг.).
9. Калихман — Некоторые вопросы внешней баллистики реактивных снарядов. Диссертация. 1947 г.
10. Копелович, Ольшванг и Колотков — Альбом реактивного вооружения, ч. I и II. НИИ-2. 1947 г.
11. Кулешов — Доклад о реактивном вооружении для генералов и офицеров Артакадемии им. Дзержинского.
12. Меламедов—Взрыватели для реактивных снарядов. Энергоиздат. 1948 г.
13. Научно-технический бюллетень (комплект журналов 1946 г.). Изд. МСХМ.
14. Немецкая реактивная техника. Сборник комиссии под председательством Гайдукова.
15. Победоносцев — О выборе веса ракеты. Труды НИИ-3, выпуск I, 1943 г.
16. Пойда — Проектирование реактивных снарядов, Артакадемия, 1946 г.
17. Производственно-технический бюллетень НКБ (комплект журналов 1943—1945 гг.). Изд. НКБ.
18. Соколовский — Технология машиностроения. Машгиз, 1947 г.
19. Стрелков — Конструкция пороховых ракет.
20. Третьяков — Боеприпасы артиллерии, Воениздат, 1947 г.
21. Франкль — Приближенный аэродинамический расчет оперения. Известия Артакадемии. Том 50. 1946 г.
22. Франкль, Карпович и Чернова—Аэродинамический расчет оперенных снарядов при сверхзвуковых скоростях. НИР. Артакадемия. 1948 г.
23. Шапиро — Внешняя баллистика. Оборонгиз. 1946 г.
24. Шапиро — Теория пороховых реактивных снарядов. Артакадемия. 1946 г.
25. Шапиро и Замковец — Анализ предельной дальности и кучности пороховых реактивных снарядов. НИР. Артакадемия. 1948 г.
26. Шор — Введение в теорию проектирования реакивных пороховых снарядов, НИИ-4. 1948 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

От автора 2
Введение 3

ГЛАВА I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ (РС)

§ 1. Сравнительные характеристики реактивной и ствольной артиллерии 8
1. Достоинства реактивной артиллерии 9
2. Недостатки реактивной артиллерии 13
§ 2. Устройство реактивных снарядов. Основные определения . . . 16
§ 3. Общая конструктивная схема устройства реактивного снаряда . . 20
§ 4. Пороховой реактивный заряд 23
§ 5. Основные зависимости внешней и внутренней баллистики пороховых реактивных снарядов 27
§ 6. Основные сведения о пусковых установках 35
§ 7. Общие хаарктеристики реактивных снарядов 44

ГЛАВА II. МАТЕРИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

А. ПОЛЕВАЯ НАЗЕМНАЯ РЕАКТИВНАЯ АРТИЛЛЕРИЯ

§ 8. Отечественные реактивные снаряды 48
1. Краткий обзор отечественных реактивных снарядов . . . 48
2. Осколочный снаряд М-8 52
3. Осколочно-фугасный снаряд М-13 55
4. Взрыватель ГВМЗ 58
5. Снаряды М-20 и М-30 60
6. Снаряд М-13-УК 61
7. Снаряд М-13ДД (опытный) 61
8. 300-мм фугасный снаряд М-31 62
9. Снаряд М-31-УК 65
10. О недостатках отечественных РС 65
§ 9. РС бывшей немецкой армии 69
1. Краткий обзор реактивных снарядов бывшей немецкой армии . 69
2. 158,5-мм осколочно-фугасный снаряд 72
3. 280-мм фугасный снаряд 77
4. 320-мм зажигательный реактивный снаряд 79
5. 210-мм осколочно-фугасный снаряд 79
6. 300-мм фугасный снаряд 81
7. 80-мм реактивный оперенный снаряд 82
8. 150-мм оперенный снаряд (опытный) 83
9. Сравнительная оценка реактивных снарядов бывшей немецкой армии 85
§ 10. Реактивные снаряды армии США 86
1. Краткий обзор реактивных снарядов армии США 86
2. Осколочно-фугасный снаряд М-8 88

3. 4,5-дюймовый снаряд береговой защиты 91
4. Осколочно-фугасный снаряд М-16 92
5. Реактивные снаряды калибра 7,2 дюйма 92

Б. ПРОТИВОТАНКОВАЯ РЕАКТИВНАЯ АРТИЛЛЕРИЯ

§ 11. Краткий обзор современных реактивных противотанковых ружей . 96
§ 12. Отечественное реактивное противотанковое вооружение . . . 99
§ 13. Противотанковое ружье M1A1 (США) 109
§ 14. Реактивное противотанковое вооружение бывшей немецкой армии . 111
1. 88-мм германское ружье ПТР-54 111
2. Активно-реактивный гранатомет «Пупхен» 115
3. Противотанковый реактивный снаряд «Хехт» 117
4. Фаустпатрон 118
5. «Быстрогорящая мина» фирмы «Рейнметалл Борзиг» 124

В. ЗЕНИТНАЯ РЕАКТИВНАЯ АРТИЛЛЕРИЯ

§ 15. Краткий обзор развития зенитной реактивной артиллерии . . . 125
§ 16. Неуправляемые зенитные реактивные снаряды бывшей немецкой армии 133
1. Снаряд «Люфтфауст» 133
2. 73-мм снаряд ФЭН 135
3. Снаряд «Тайфун» 136
4. Зенитный реактивный снаряд «Торнадо» 143
5. Опытный снаряд фирмы «Рейнметалл-Борзиг» 144
6. Снаряд-матка «Рейнкинд» 145
§ 17. Управляемые зенитные снаряды бывшей немецкой армии . . . 148
1. Снаряд «Рейнтохтер» 148
2. Снаряд «Рейнтохтер *R*-III*P*» 153

Г. РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ ДЛЯ БОРТОВОГО ВООРУЖЕНИЯ САМОЛЕТОВ

§ 18. Особенности реактивных снарядов для бортового вооружения самолетов 154
§ 19. Снаряды для стрельбы по самолетам 156
1. РС-82 и РС-132 156
2. Снаряд *R*-100*BS* 157
3. Снаряд «Дратмантель» 159
4. Прочие снаряды 160
§ 20. Снаряды для стрельбы с самолета по танкам 162
1. РБС-82 и РБС-132 162
2. Снаряд «Панцерблитц» 164
§ 21. Реактивные снаряды для стрельбы с самолета по морским судам . 164
1. Авиационные реактивные бомбы 164

Д. РЕАКТИВНЫЕ СНАРЯДЫ ДАЛЬНЕГО ДЕЙСТВИЯ

§ 22. Многокаморные реактивные снаряды 168
1. 4-каморный снаряд Рейнботе 168
2. Проект 3-каморного реактивного снаряда 173

ГЛАВА III. ОСНОВЫ РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕАКТИВНЫХ СНАРЯДОВ

§ 23. Введение 175
§ 24. Проектирование порохового заряда 175
1. Пороховой заряд с неограниченным временем горения порохового заряда 176
2. Пороховой заряд с ограниченным временем горения 180
§ 25. Выбор наивыгоднейшего давления в реактивной каморе . . . 184
§ 26. Анализ методов повышения дальности реактивных снарядов наземной артиллерии 186
1. Общие положения 186
2. Методика анализа дальностей снарядов неограниченной длины . 187
3. Методика анализа дальностей снарядов ограниченной длины . 191
§ 27. Анализ методов повышения дальности противотанковых реактивных снарядов 193
§ 28. Расчет кучности реактивных снарядов 200
1. Оперенные реактивные снаряды 200
2. Турбореактивные снаряды 205
3. Оперенные противотанковые реактивные снаряды 206
§ 29. Предварительное определение параметров проектируемого снаряда . 207
1. Метод эмпирических коэффициентов 208
2. Метод Победоносцева 210
3. Метод расчета по кривым $x = f(D_н, C_{qб})$ 213
§ 30. Форма и размеры корпуса реактивного снаряда. Прочность при выстреле и ударе в преграду 215
§ 31. Тактико-техническое задание 219
1. Тактико-технические требования 220
2. Производственно-экономические требования 226

ГЛАВА IV. РАСЧЕТ, КОНСТРУИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА

§ 32. Введение 229
§ 33. Материалы, применяемые в производстве реактивных снарядов . 230
§ 34. Получение заготовок деталей РС 231
§ 35. Термообработка деталей реактивных снарядов 233
§ 36. Боевая часть реактивного снаряда 234
1. Боевое действие реактивных снарядов у цели 235
2. Служебные требования к боевой части 241
3. Боевая часть осколочных и осколочно-фугасных снарядов . 245
4. Боевая часть фугасных снарядов 252
5. Боевая часть кумулятивных снарядов 255
6. Бовая часть зенитных снарядов 260
7. Боевая часть зажигательных снарядов 261
8. Боевая часть химических снарядов 263
9. Снаряжение боевой части 264
§ 37. Реактивная камора 267
1. Служебные требования 267
2. Материалы и формы заготовок 268
3. Конструктивные формы реактивных камор 270
4. Точность, технология изготовления, испытания 276
5. Расчет на прочность трубы с донъями, подверженной внутреннему давлению 284
6. Расчет трубы, скрепленной проволокой 291
7. Расчет реактивной каморы на прочность 294

§ 38. Специальные конструкции реактивных камор 300
1. Реактивные каморы многокаморных снарядов 301
2. Реактивные каморы с двойным выпуском газов 305
3. Стартовые реактивные каморы 306
§ 39. Промежуточные донья 310
§ 40. Сопловая крышка 311
1. Служебные требования и классификация сопел 312
2. Простые сопла (нерегулируемые) 313
3. Сменные сопла 316
4. Регулируемые сопла 318
5. Сопла с предохранительным клапаном 320
6. Точность, технология изготовления сопловых крышек 321
§ 41. Диафрагма 326
1. Общие положения 326
2. Диафрагмы для одношашечных зарядов 328
3. Диафрагмы для многошашечных зарядов 329
4. Диафрагмы для тонкосводных порохов 331
§ 42. Направляющие штифты 332
§ 43. Стопорные винты 336
§ 44. Стабилизатор. Оперение 337
1. Устойчивость оперенных снарядов на полете 337
2. Конструктивные формы. Служебные требования 346
3. Технология изготовления стабилизаторов 352
§ 45. Воспламенитель 356
§ 46. Зажигательные устройства 359
§ 47. Взрыватели для реактивных снарядов 363
1. Взрыватели для оперенных снарядов 364
2. Взрыватели для турбореактивных снарядов 367
§ 48. Сборка реактивных снарядов 368
§ 49. Требования к снаряженным реактивным снарядам 373
§ 50. Анализ допусков реактивных снарядов 374
1. Общие положения 374
2. Взаимосвязь между линейными и весовыми допусками 376
3. О величине геометрического эксцентриситета снаряда 387
§ 51. Применение труб в производстве реактивных снарядов 390
§ 52. Применение скоростных методов резания при обработке деталей реактивных снарядов 393
1. Скоростной метод нарезания резьбы 393
2. Скоростное точение деталей реактивных снарядов 395
§ 53. Порядок расчета и проектирования; требования к оформлению проекта 396
§ 54. Проектирование технологического процесса и формы технологической документации 400
§ 55. Мероприятия по соблюдению технологического процесса 402
§ 56. Работа военпреда по приемке реактивных снарядов на механическом заводе 404

ГЛАВА V. ПОЛИГОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ОБРАЩЕНИЕ С РЕАКТИВНЫМИ БОЕПРИПАСАМИ

§ 57. Полигонные испытания 406
1. Общие указания 406
2. Отбор контрольных партий снарядов и подготовка их к испытанию стрельбой 406
3. Подготовка боевых машин 407
4. Проведение испытаний контрольных партий снарядов 407
5. Обработка результатов испытаний 408

§ 58. Общие сведения об индексации, маркировке, клеймении, окраске и укупорке 409
1. Индексы 409
2. Маркировка 410
3. Клеймение 410
4. Окраска 410
5. Укупорка 412
§ 59. Хранение, сбережение, прием и перевозка реактивных боеприпасов 414
1. Хранение боеприпасов 414
2. Сбережение боеприпасов 415
3. Прием, отправка и перевозка реактивных боеприпасов 416
§ 60. Служебное обращение с реактивными боеприпасами 416
§ 61. Уничтожение негодных реактивных боеприпасов 417
§ 62. Категорирование реактивных снарядов 418
§ 63. Ремонт реактивных боеприпасов 420
1. Общие положения 420
2. Полный ремонт 421
3. Малый ремонт 426

ПРИЛОЖЕНИЯ:

1. Таблица конструктивных данных отечественных реактивных снарядов 429
2. Таблица конструктивных данных немецких реактивных снарядов наземной артиллерии 430
3. $\varepsilon_{max} = f(N)$ 431
4. Классификация по группам и классам чистоты (по ГОСТ 2789-45) 432
5. Чистота поверхности, соответствующая различным методам обработки 432
6. Материалы, применяемые в производстве реактивных снарядов . 433
7. Перечень операций при обработке боевой части снаряда М-13 . 436
8. Перечень операций при обработке каморы снаряда М-13 . . 442
9. Перечень операций при обработке крышки-сопла снаряда М-13 . 448
Литература 454

Отпечатано на 230 листах + 3 вклейки

Изд. № 120 Зак. № 128с

Типография Артакадемии

22.3.57
21.XI.57

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
23	2 сверху	1/10 — 1/15	1/4 — 1/5.
69	5 сверху	деталь —	наличие детали —
72	16 снизу	дымового	дымного.
90	6 снизу	$BB \approx 1{,}5$ кг	$BB \approx 2{,}5$ кг
106	19 сверху	взрыва	взрывателя
138	2 сверху	подготовки веса	подгонки веса
163	Подпись к рис. 113	РБС-31.	РБС-132.
180	5 снизу	параметров	периметров
201	18 снизу	зависит только от x	зависит только от x_0
203	9 сверху	$\sqrt{\frac{0{,}123 \cdot S \cdot l \cdot C'_m}{1 \cdot k_1 Q \cdot l^2}}$	$\sqrt{\frac{0{,}123 \cdot S \cdot l \cdot C'_m}{2 \cdot k_1 Q l^2}}$
215	4 сверху	определенных	оперенных
219	10 и 20 сверху	кг/см^2	кг/мм^2
283	6 сверху	цель	цепь
316	6 сверху	поверхности сопла	поверхности раструба
357	18 снизу	кг/дм^2	кг/дм^3
430	7 снизу	Число сопел, мм.	Число сопел